

Lauri Ahopelto

EU:n uusi vedenniukkuusindikaattori ja sen soveltaminen Suomessa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytetyönä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten Espoossa 12.2.2013

Työn valvoja: Professori Harri Koivusalo

Työn ohjaajat: DI Olli-Matti Verta ja TkT Esko Kuusisto

AALTO-YLIOPISTO TEKNIKAN KORKEAKOULUT PL 11000, 00076 AALTO http://eng.aalto.fi		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Lauri Ahopelto			
Työn nimi: EU:n uusi vedenniukkuusindikaattori ja sen soveltaminen Suomessa			
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu			
Laitos: Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos			
Professuuri: Tekninen vesitalous		Koodi: Yhd-12	
Työn valvoja: Professori Harri Koivusalo Työn ohjaajat: Diplomi-insinööri Olli-Matti Verta ja Tekniikan tohtori Esko Kuusisto			
<p>Ihmissen aiheuttamasta liiallisesta vedenkäytöstä suhteessa käytettävissä oleviin vesivaroihin on seurauksena veden niukkuus. Tämän työn tavoitteena on soveltaa EU:n uutta vedenniukkuusindikaattoria (WEI+) Suomeen ja selvittää onko Suomessa ollut veden niukkuutta vuosina 2000–2011 ja arvioida onko WEI+ indikaattori parempi kuin aikaisemmat vedenniukkuusindikaattorit. Indikaattori on osa Euroopan komission uutta suunnitelmaa Euroopan vesivarojen turvaamiseksi, joka julkaistiin marraskuussa 2012.</p> <p>Veden niukkuuden WEI+ analyysi tehtiin Suomessa vuositason 37 vesistölle, ja näistä kahtatoista testattiin myös kuukausi-tasolla. Tämän lisäksi indikaattorin avulla tehtiin tapaustutkimus Virttaankankaan tekopohjavesihankkeen vaikutuksista veden niukkuuteen. Indikaattorin hyvyttä ja informatiivisuutta arvioitiin kuudella kriteerillä.</p> <p>WEI+ analyysissä arvioidaan ihmisen aiheuttamaa räsitusä vesistöön. Vedenotosta vähennetään käytön jälkeen vesistöön palautuva vesi. Jäljelle jäänyt vedenotto jaetaan luonnollisten vesiresurssien määrällä. Saatua prosentuaalista suhdelukua verrataan kynnysarvoihin, jotka kertovat veden niukkuuden ästeen. Vedenottoa ja palautuvaa vettä ei Suomessa juuri mitata, joten työssä käytetyt arvot perustuvat pitkälti kirjallisuuteen.</p> <p>Tulosten perusteella Suomessa ei ole veden niukkuutta vuositason, mutta lievää kausittaista veden niukkuutta esiintyy kesäisin Aurajoessa, Uskelanjoessa, Sirppujoessa ja Paimionjoessa. Jatkotutkimuksia ajatellen on suositeltavaa tehdä vuosittaisen analyysi kaikille Suomen vesistöille ja lisäksi kuukausittainen analyysi, jos vuosittaisen vedenniukkuusanalyysin arvot ovat yli yhden prosentin tai vesistön peltopinta-ala on yli 20 % sen kokonaispinta-ala. Tapaustutkimuksen tulosten perusteella Virttaankankaan tekopohjavesihanke poistaisi kausittaisen veden niukkuuden Aurajoesta ja Paimionjoesta. Vedenniukkuusindikaattorin tärkeimpiä ominaisuuksia yleisen tietoisuuden kasvattamisen lisäksi on sen kyky osoittaa kuivuudelle herkemmat alueet. Päätöksentekijöiden on mahdollista kohdentaa näille alueille lisätutkimusta ja mahdollisesti vettä säästäviä toimenpiteitä tulevaisuudessa.</p>			
Päivämäärä: 12.2.2013		Kieli: suomi	
		Sivumäärä: 80+14	
Avainsanat: veden niukkuus, veden niukkuus Suomessa, WEI+, ympäristöä kuvaavat indikaattorit			

AALTO UNIVERSITY SCHOOL OF ENGINEERING PO Box 11000, FI-00076 AALTO http://eng.aalto.fi		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS	
Author: Lauri Ahopelto			
Title: European Unions new water scarcity indicator and its application in Finland			
School: School of Engineering			
Department: Civil and Environmental Engineering			
Professorship: Water Resources Engineering		Code: Yhd-12	
Supervisor: Professor Harri Koivusalo Instructors: M. Sc. (Tech) Olli-Matti Verta and D.Sc. (Tech.) Esko Kuusisto			
<p>Water scarcity is defined as human-induced excessive water use in relation to the available water resources. The objective of this thesis was to apply the new EU water scarcity indicator (Water Exploitation Index +, WEI+) in Finland to find out whether there has been water scarcity in Finland during years 2000-2011. The second objective was to examine whether WEI+ indicator is better than the earlier water scarcity indicators. The indicator is a part of the European Commission's new blueprint to safeguard Europe's waters, which was released in November 2012.</p> <p>WEI+ analysis was carried out in Finland annually for 37 water basins, and of these, twelve were also tested on a monthly basis. In addition, a case study was carried out with the indicator for an artificial ground water project in Virttaankangas to assess its impacts on water scarcity. The indicator was also evaluated on six criteria.</p> <p>WEI+ analysis assesses the human-induced stress towards the water basin. The water that returns to the basin after use is reduced from the abstraction of water. The result is then divided by the amount of natural water resources. The resulting percentage value is compared to threshold values that indicate the severity of water scarcity. Abstraction and returned water are not measured accurately in Finland. Therefore, the values are largely based on the literature.</p> <p>The results show that Finland does not have annual water scarcity, but slight seasonal water scarcity occurs during summers in the river Aurajoki, river Uskelajoki, river Sirppujoki and river Paimionjoki. With further studies in mind, it is advisable to make an annual analysis of all the Finnish water basins and in addition the monthly analysis, if the annual analysis is more than one per cent or the total agricultural area of the basin is more than 20%. The artificial ground water project in Virttaankangas is a great project in terms of water scarcity, because it would eliminate the seasonal water scarcity in river Aurajoki and river Paimionjoki. One of the most important features of the Water scarcity indicator, besides raising awareness, is its ability to show areas that are more prone to drought. Decision makers are able to target these areas with more studies and possibly water saving techniques in the future.</p>			
Date: Feb 12 th 2013		Language: Finnish	
		Number of pages: 80+14	
Keywords: water scarcity, water scarcity in Finland, WEI+, environmental indicators			

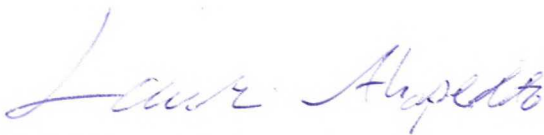
Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Suomen ympäristökeskuksessa yhteistyössä Varsinais-Suomen ELY-keskuksen kanssa. Työ on osa suurempaa EU:n vedenniukkuus- ja kuivuustyötä. Työn rahoitti Maa- ja metsätalousministeriö. Työn ohjasivat Diplomi-insinööri Olli-Matti Verta Varsinais-Suomen ELY-keskuksesta sekä tekniikan tohtori Esko Kuusisto Suomen ympäristökeskuksesta. Valvojana työssä toimi professori Harri Koivusalo.

Haluan kiittää erityisesti Olli-Matti Vertaa, joka ohjasi työtä erinomaisesti, sekä opasti minua EU:n lyhenteiden ja byrokratian viidakossa. Kiitokset myös työn toiselle ohjaajalle Esko Kuusistolle, sekä työn valvojalle Harri Koivusalolle. Maa- ja metsätalousministeriöstä tahdon kiittää Ville Keskisarjaa.

Perheelleni tahdon antaa suurkiitoksen kannustuksesta ja tuesta läpi opintojeni. Tämän työn kommentoinnista tahdon erikseen kiittää Diplomi-insinöörejä Erkki ja Jaakko Ahopelto. Suurin kiitos menee puolisolleni Suville vertaistuesta ja kannustuksesta.

Helsingissä 12. helmikuuta 2013



Lauri Ahopelto

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Lyhenteet	7
Kuvaluettelo	7
Taulukkuasettelu	8
1 Johdanto	9
1.1 Työn tavoitteet, rajaus ja rakenne	10
2 Veden niukkuus	12
2.1 Veden niukkuuden määrittely	12
2.1.1 Määrittämisen vaikeudet	16
2.2 Veden niukkuuden vaikutukset ihmisiin ja luontoon	17
2.3 Veden niukkuuteen johtavat syyt	18
2.4 Veden niukkuus Euroopassa	20
2.5 Veden niukkuus Suomessa	22
2.6 Veden niukkuus tulevaisuudessa	23
3 Indikaattorit ja niiden tarkoitus	25
3.1 Indikaattoreiden laadulliset vaatimukset	26
3.2 Ympäristön tilaa kuvaavat indikaattorit	26
3.3 Indikaattorit Euroopan unionissa	27
4 Olemassa olevia vedenniukkuusindikaattoreita	29
4.1 Ihmisten vedentarpeeseen perustuvat indikaattorit	29
4.2 Vesivarojen herkkyyteen tai riittävyyteen perustuvat indikaattorit	30
4.3 Vesijalanjälkeen perustuvat indikaattorit	31
4.4 Veden niukkuutta kuvaavien indikaattoreiden parametrit	31
4.4.1 Ihmisen aiheuttama vedenkulutus	32
4.4.2 Käytettävissä olevat uusiutuvat vesivarat	32
4.4.3 Ympäristövirtaama	33

4.5 Indikaattoreiden mittakaava, resoluutio ja aika-askel	35
5 Menetelmät ja aineisto	36
5.1 WEI+ analyysi	36
5.1.1 Uusiutuvat vesivarat	36
5.1.2 Vedenotto	37
5.1.3 Palautuva vesi	40
5.1.4 WEI+ kynnysarvot	40
5.2 Kuukauden aika-askeleen vaikutus tuloksiin	41
5.3 Koevesistöt	42
5.3.1 Paimionjoki	44
5.3.2 Kokemäenjoki	45
5.4 Indikaattorivertailu	47
6 WEI+ analyysin tulokset	49
6.1 Vuosittaiset analyysin tulokset	49
6.2 Kuukausittaisen analyysin tulokset	53
6.5 Tapaustutkimus: Virttaankankaan vaikutukset veden niukkuuteen	56
7 Indikaattorivertailun tulokset	61
7.1 WEI+ indikaattorin luotettavuus	61
7.2 Vuositason vedenniukkuusindikaattoreiden vertailu	63
7.3 Kuukausitason vedenniukkuusindikaattoreiden vertailu	66
8 Tulosten tarkastelu	69
9 Johtopäätökset	73
Lähdeluettelo	75
Liite 1 – Veden niukkuuden ja kuivuuden määritelmiä	81
Liite 2 – WEI+ factsheet	84
Liite 3 – WEI+ tulokset ja arvot yhteenveto	92
Liite 4 – WEI+ Kuukausianalyysin tulosten yhteenveto	94

Lyhenteet

WEI+	Water Exploitation Index +
IWMI	International Water Management Institute
UNEP	The United Nations Environment Programme
EU	Euroopan Unioni
EEA	European Environment Agency
LTAA	Long time annual average
WRI	World Resources Institute
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change
HDI	Human Development Index
WDI	Water Demand Index
SYKE	Suomen ympäristökeskus
WSFS	Watershed Simulation and Forecasting System
VAHTI	Valvonta ja kuormitustietojärjestelmä
FAO	Food and Agriculture Organization
CIESIN	Center for International Earth Science Information Network
CIAT	International Center for Tropical Agriculture

Kuvaluettelo

Kuva 1. Maakohtainen vedenotto suhteessa saatavilla olevaan veden määrään vuosina 1995 ja 2025. (Rekacewicz, 2006)	10
Kuva 2. Fyysisen ja taloudellisen veden niukkuuden alueet maailmassa vuonna 2007. (IWMI, 2007)	14
Kuva 3. Veden niukkuuden eri muotoja ja termejä kirjallisuudesta.	15
Kuva 4. Globaali sinisen ja vihreän veden kulutus. (IWMI, 2007)	18
Kuva 5. Globaalin kastelun määrä (vaalean vihreä) suhteessa Maailmanpankin lainoitukseen (tumman vihreä) ja ruuan hinta –indeksiin (oranssi). (IWMI, 2007)	19
Kuva 6. Vesivarojen jakaantuminen Euroopassa per henkilö. (Kossida et al. 2012)	20
Kuva 7. Vuoden 1990 WEI arvot Euroopan maissa verrattuna viimeisimpään saatavilla olevaan arvoon (1998- 2007). (EEA, 2009)	21
Kuva 8. Euroopan vedenotto ja sen muutokset vuoteen 2030 mennessä (Islanti poisluettuna). (EEA, 2005)	21
Kuva 9. Teollisuuden vedenoton lähteet keskimäärin vuosina 2003-2010. (Tilastokeskus, 2011b)	23
Kuva 10. Vedenoton kehitys 1990-luvulla Euroopassa. (EEA, 2005)	24
Kuva 11. EU:n suunnitelman Euroopan vesivarojen turvaamiseksi sekä sen askeleet ja osa-alueet. (European Commission, 2012)	28
Kuva 12. Teoreettinen riippuvuus ympäristövirtaaman ja joen ekologisen tilan välillä. (Navarro & Schmidt, 2012)	34
Kuva 13. Vesistöt, joille tehtiin kuukausittainen WEI+ analyysi.	44
Kuva 14. Vedenoton keskiarvo Paimionjoella vuosilta 2000–2011 (%)	45
Kuva 15. Kuukausien vedenoton jakaantuminen Paimionjoella vuosina 2000–2011 (Mm ³)	45
Kuva 16. Vedenoton keskiarvo Kokemäenjoella sektoreittain vuosilta 2000–2011 (%)	46

Kuva 17. Vuosittainen keskiarvo otannan vesistöjen WEI+ arvoista vuosilta 2000–2011.	49
Kuva 18. Keskiarvo vuosien 2000–2011 vuosittaisista WEI+ arvoista	51
Kuva 19. Kartta Suomen vesistöistä WEI+ arvojen mukaan värikoodattuna.	52
Kuva 20. Viiden vesistön kuukausittaiset keskimääräiset WEI+ arvot.	53
Kuva 21. Vuosittaisten ja kuukausittaisten WEI+ analyysien keskiarvot vuosilta 2000–2011	54
Kuva 22. Paimionjoen kuukausittaisten WEI+ arvojen keskiarvo, minimi ja maksimi.	55
Kuva 23. Kokemäenjoen kuukausittaisten WEI+ arvojen keskiarvo, minimi ja maksimi.	55
Kuva 24. Paimionjoen kuukausittaiset WEI+ arvot vuosilta 2000–2010.	56
Kuva 25. Virttaankankaan pohjavesihankkeen yleiskartta ja prosessikaavio. (Valtonen, 2009)	57
Kuva 26. Paimionjoen vuosittaisen WEI+ keskiarvo pumppauksella ja ilman.	58
Kuva 27. Paimionjoen kuukausittainen WEI+ keskiarvo vuosilta 2000–2011 pumppauksella ja ilman.	58
Kuva 28. Paimionjoen kuukausittainen WEI+ pumppauksella ja ilman.	59
Kuva 29. Aurajoen vuosittaisen WEI+ keskiarvo kun talousvesi tulee Virttaankankaalta tai Aurajoesta.	59
Kuva 30. Kokemäenjoen vuosittaiset WEI+ keskiarvot ilman pumppausta ja pumppauksen mitoitusravolla laskettuna.	60
Kuva 31. Kokemäenjoen kuukausittaiset WEI+ arvot ilman pumppausta, sekä pumppauksen mitoitusravon kanssa.	60
Kuva 32. Tarkastelussa olevien vesistöjen arvot WEI+, WEI ja Falkenmark – indikaattoreilla. Alempi asteikko on Falkenmarkin indikaattorille.	65
Kuva 33. Vesijalanjälki vedenniukkuusindikaattorin tuloksia Suomessa olevien vesistöjen kuukausittaisista veden niukkuuksista sekä Kokemäenjoen WEI+	67
Kuva 34. Vesijalanjälki vedenniukkuusindikaattorin tuloksia huhti-toukokuulta Suomessa olevien vesistöjen kuukausittaisista veden niukkuuksista sekä Kokemäenjoen WEI+	67
Kuva 35. Eri vesistöjen vesijalanjälki sekä Kokemäenjoen vedenotto – palautuva vesi ($10^3 \text{ m}^3/\text{kk}$)	68

Taulukkoluetelo

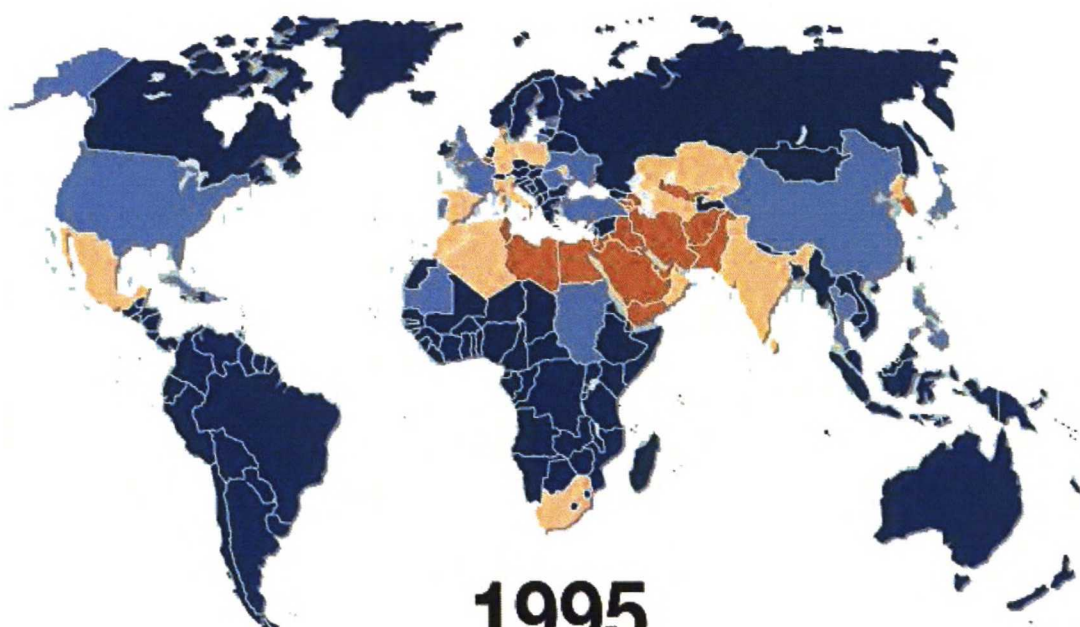
Taulukko 1. Veden niukkuuden ja sitä lähellä olevien termien aiheuttajat ja ajanjaksot. (Pereira et al. 2002)	13
Taulukko 2. Falkenmarkin vedenniukkuusindikaattorin raja-arvot (1989)	30
Taulukko 3. WEI+ tarkasteluun otetut Suomen vesistöalueet, niiden vesistötunnukset, laskumerialue, valuma-alue Suomen puolella ja järvisuusprosentti. Vesistöt joille tehtiin kuukausittainen WEI+ analyysi ovat alleviivattuina.	43
Taulukko 4. Työn kirjoittajan sekä kolmen vesitekniikan asiantuntijan arviot WEI+ indikaattorin ominaisuuksista sekä keskiarvo kaikista.....	62

1 Johdanto

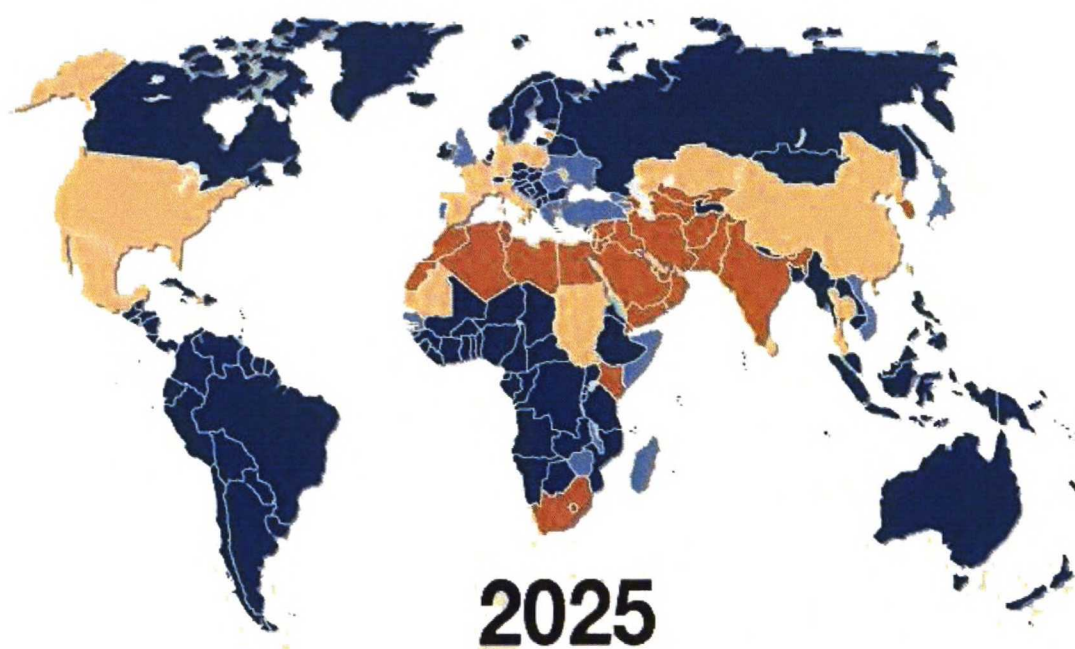
Veden niukkuus, eli ihmisten aiheuttama liiallinen vedenkäyttö suhteessa käytettävissä oleviin vesivaroihin, on käsitteenä Suomessa melko uusi ja tuntematon, koska Suomessa ei juuri ole veden niukkuutta. Kuitenkin noin kolmannes maailman väestöstä elää veden niukkuudessa (Kummu et al. 2010; IWMI, 2007). Globaalisti veden niukkuus aiheuttaa vakavia ongelmia, kuten ympäristön tilan heikentymistä, uusiutumattomien vesivarojen ehtymistä sekä ristiriitoja ja konflikteja veden käyttömuotojen välillä. Veden niukkuus on viime vuosikymmeninä lisääntynyt. Ilmastonmuutos ja väestönkasvu näyttäisivät ylläpitävän tai jopa vauhdittavan tätä trendiä (Kuva 1). Kasvava veden niukkuus on globaalisti todella suuri keskustelun ja tutkimuksen kohde (UNEP FI, 2004). Myös Euroopassa, etenkin Etelä-Euroopassa, veden niukkuus on todellinen ongelma. Tästä syystä EU:ssa valmistellaan uusia veden niukkuus- ja kuivuusindikaattoreita, joiden avulla veden niukkuutta voidaan mitata entistä luotettavammin ja yhtenäisemmin koko EU:ssa.

Yksi uusista EU:n indikaattoreista on vedenniukkuusindikaattori WEI+ (Water Exploitation Index +). Se on osa vedenniukkuus- ja kuivuusindikaattoripalettia, joka on osa uutta Euroopan komission (2012) suunnitelmaa Euroopan vesivarojen turvaamiseksi (A Blueprint to Safeguard Europe's Waters). Suunnitelma julkaistiin marraskuussa 2012. Veden riittävyyden ja erityisesti maatalouden veden käytön arviointi on EU:ssa tällä hetkellä erittäin ajankohtainen asia. Suunnitelmassa Euroopan vesivarojen turvaamiseksi ehdotetaan suuria ja kauaskantoisia suuntaviivoja sekä toimenpiteitä EU:n vesipolitiikan kehittämiseksi ja harmonisoimiseksi (Bäck, 2012). Suositusten olisi tarkoitus olla käytössä vuonna 2020 ja niiden on suunniteltu pätevän ainakin vuoteen 2050 asti. WEI+ indikaattorin ohella muut Euroopassa valmisteltavat veden niukkuus- ja kuivuuskysymystä koskevat indikaattorit mittaavat muun muassa sadantaa, lumipeitettä, valuntaa sekä maa- ja pohjaveden määrää. Tavoitteena on saada yhteiset ja yhteismitalliset mittarit kaikille jäsenmaille. Indikaattoreilla on kolme päätarkoitusta: yleisen tietoisuuden lisääminen, tiedon koonti ja yhdistäminen sekä yhteismitallisen tiedon tarjoaminen poliittisten päätösten tekijöille.

Kuivuutta ja veden niukkuutta koskevista indikaattoreista on sovittu EU:n jäsenmaiden ja komission edustajien muodostamassa asiantuntijaryhmässä (Expert Group of Water Scarcity and Drought). Asiantuntijaryhmä perusti erillisen teknisen työryhmän selvittämään vedenniukkuusindikaattoria. Vuonna 2012 osa työryhmän jäsenmaista testasi toistakymmentä erilaista indikaattorivaihtoehtoa eri testivesistöissä ympäri Eurooppaa. Näiden testien ja asiantuntijakommenttien pohjalta työryhmä esitti asiantuntijaryhmälle omat näkemyksensä, joiden pohjalta uudesta vedenniukkuus-indikaattorista (WEI+) päätettiin. Tässä tutkimuksessa kyseistä indikaattoria sovelletaan Suomeen.



Vedenotto kokonaisveden määrästä prosentteina



Kuva 1. Maakohtainen vedenotto suhteessa saatavilla olevaan veden määrään vuosina 1995 ja 2025. (Rekacewicz, 2006)

1.1 Työn tavoitteet, raja- aus ja rakenne

Tämän diplomityön päätavoitteena on hakea vastauksia seuraaviin vedenniukkuus-indikaattoriin ja sen soveltamiseen liittyviin keskeisiin kysymyksiin: ”Onko Suomessa ollut veden niukkuutta vuosina 2000–2011?” ja ”Onko WEI+ indikaattori parempi kuin aikaisemmat vedenniukkuusindikaattorit?”. Samalla pohditaan veden niukkuuden merkitystä Suomelle myös yleisemmällä tasolla. Työ on rajattu käsittelemään vain veden niukkuutta ja sen indikointia. Veden niukkuuteen läheisesti liittyvä kuivuus jätetään tässä työssä käsittelemättä. Tarkastelussa on vain Suomen vesistöjä.

Työssä oli tavoitteena testata EU:n uutta vedenniukkuusindikaattoria (WEI+) Suomen vesistöihin. Indikaattoritarkastelu tehtiin Suomessa 37 vesistölle vuositasolla, joista kahtatoista testattiin myös kuukausitasolla. Tapaustutkimuksessa Virttaankankaan tekopohjavesihankkeen vaikutuksia veden niukkuuteen pyrittiin myös arvioimaan indikaattorin avulla. Hankkeessa raakavesi otetaan Kokemäenjoesta, esikäsitellään ja johdetaan Virttaankankaalle, jossa se imeytetään tekopohjavedeksi. WEI+ indikaattoria vertaillaan myös muihin vedenniukkuusindikaattoreihin sekä indikaattoreiden hyvyttä ja informatiivisuutta kuvaaviin kriteereihin.

Työn rakenne etenee johdannon jälkeen kirjallisuusosioon, jossa tarkastellaan ensin veden niukkuuden määritelmiä ja vaikutuksia. Veden niukkuutta käsitellään globaalisti ja lokaalisti. Seuraavaksi tarkastellaan indikaattoreita, syvällisemmin erityisesti ympäristön tilaa kuvaavia indikaattoreita ja selvitetään niiden roolia EU:ssa. Lopuksi esitellään käytössä olevia vedenniukkuusindikaattoreita ja erityisesti tässä tutkimuksessa sovellettavaa WEI+ indikaattoria.

Soveltavassa osassa esitellään käytetyt menetelmät ja sovellettu aineisto, joiden jälkeen esitetään ensin WEI+ analyysin tulokset sekä tapaustutkimus Virttaankankaalta. Sitten esitetään indikaattorivertailun tulokset. Lopuksi tarkastellaan tuloksia sekä luodaan johtopäätökset.

2 Veden niukkuus

Veden niukkuus on hyvin moniulotteinen ongelma. Se vaikuttaa kaikkiin sosiaalisiin ja ekonomisiin sektoreihin sekä luonnon vesiekosysteemeihin. Ratkaisut veden niukkuuden torjumiseksi ovatkin monialaisia ja poikkitieteellisiä. Joitakin termejä, kuten kuivuus, sekoitetaan usein veden niukkuuden kanssa. Tässä luvussa tarkastellaan veden niukkuuden määritelmää sekä veden niukkuuden määrittämisen vaikeutta. Veden niukkuuden vaikutuksia, sekä erilaisia veden niukkuuden asteita, tarkastellaan globaalisti ja lokaalisti.

2.1 Veden niukkuuden määritelmä

Yleisesti määriteltynä veden niukkuus on tilanne, jolloin vettä ei ole tarpeeksi tyydyttämään kysyntää. Usein käytetään myös termiä vesistressi (water stress). Tästä yleisestä määritelmästä on kuitenkin olemassa monta eri tyyppiä.

Pereira et al. (2002) toteavat, että tärkeä asia veden niukkuus -konseptin ymmärtämisessä on, että sillä mitataan veden käyttöä suhteessa veden määrään. Toisin sanoen Saharassa voi olla alueita, jotka eivät kärsi veden niukkuudesta, koska alueilla ei edes käytetä vettä. Vastavuoroisesti alueet, joilla vettä on runsaasti, voivat kärsiä veden niukkuudesta, esimerkiksi erittäin runsaan kastelun johdosta. On siis tärkeää tehdä ero kuivuuden ja veden niukkuuden välillä. Luonnollista toki on, että kuivat alueet ovat herkempiä veden niukkuudelle kuin vetisemmät. Liitteessä 1 on esitetty veden niukkuutta ja kuivuutta eri näkökulmista.

Toinen oleellinen asia, jonka Pereira et al. (2002) nostavat esiin on, että veden niukkuus on aina pitkäaikaista. Yksittäinen niukka vesivuosi ei johda veden varsinaiseen niukkuuteen. Tällöin on ollut kyseessä vain kuiva vuosi. Veden niukkuus on pidempiaikainen rakenteellinen vaje veden kulutuksen ja vesivarojen välillä. Taulukko 1 havainnollistaa veden niukkuuden ja sitä lähellä olevien termien eroja ajanjakson ja aiheuttajan suhteen. Taulukko kertoo, että mitä pidemmästä vedenkulutuksen ja käytettävissä olevien vesivarojen epätasapainosta on kyse, sitä vakavammat ovat seuraukset. Pitkään jatkunut epätasapaino johtaa lopulta jopa aavikoitumiseen.

Navarro ja Schmidt (2012) luonnostelivat viimeisimmän Euroopan Unionin määritelmän veden niukkuudesta. Yleisesti määriteltynä se on pitkäaikainen ihmisen aiheuttama liiallinen vedenotto suhteessa uusiutuviin vesivaroihin. Myös vedenlaadun pilaantuminen käyttökelvottomaksi voi aiheuttaa veden niukkuutta.

Taulukko 1. Veden niukkuuden ja sitä lähellä olevien termien aiheuttajat ja ajanjaksot. (Pereira et al. 2002)

		Ajanjakso		
		Lyhytaikainen (päiviä, viikkoja)	Keskipituinen (kuukausia, vuosia)	Pitkäaikainen (vuosikymmeniä)
Aiheuttaja	Luonnollinen	Kuivakausi	Kuivuus	Hedelmättömyys/Kuivuus
	Ihmisen aiheuttama	Vesipula	Veden niukkuus	Aavikoituminen

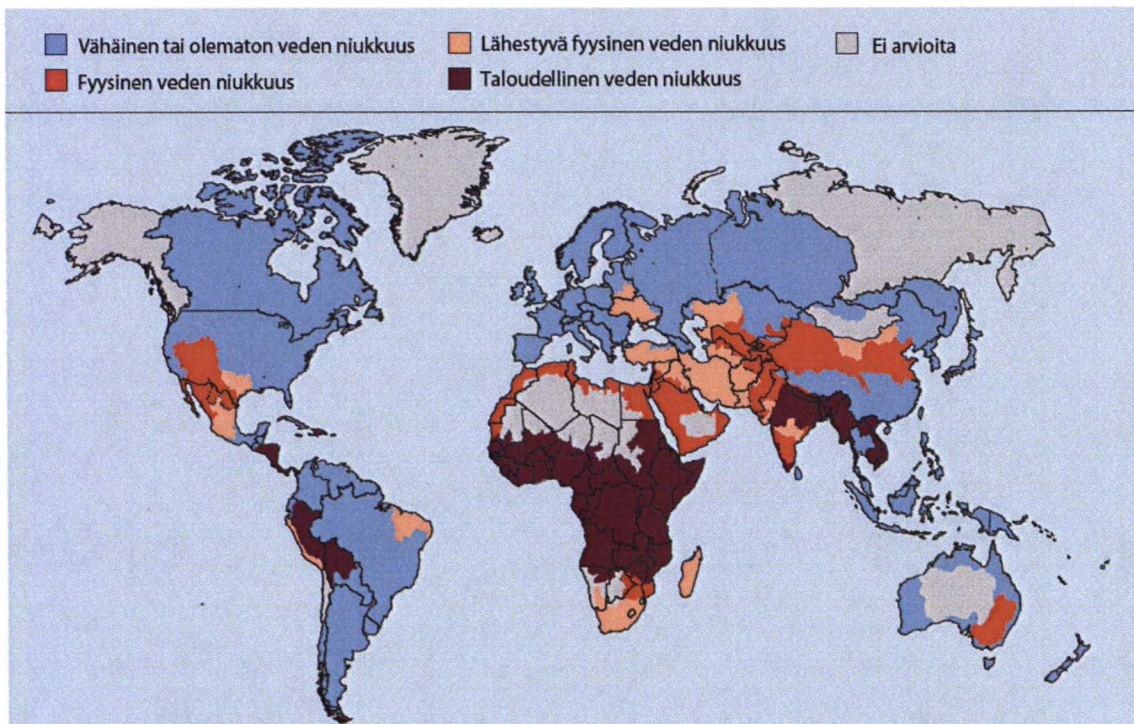
International Water Management Institute (IWMI, 2007) käsitteli laajassa tutkimuksessaan maatalouden vesienhallintaa ja jakoi veden niukkuuden kahteen ryhmään: taloudelliseen veden niukkuuteen ja fyysiseen veden niukkuuteen. Alla olevassa kartassa (Kuva 2) on esitetty veden niukkuuden jakautumista maailmassa. Kartan termit on määritelty ja kuvattu tarkemmin alla.

Taloudellinen veden niukkuus (tai sosiaalinen veden niukkuus) syntyy, kun alueella ei ole rahaa tai infrastruktuuria vedenottoon, jolla veden tarve saataisiin tyydytettyä. Määritelmän mukaan alue kärsii taloudellisesta veden niukkuudesta, jos jokien vesistä käytetään alle 25 %, mutta alueella on silti aliravitsemusta. Taloudellista veden niukkuutta aiheuttavat mm. instituutiot, jotka suosivat joitain ryhmiä toisten kustannuksella. Taloudellisesta veden niukkuudesta kärsiviä maita on enimmäkseen vain Saharan eteläpuolisilla alueilla. Infrastruktuurin kehittämällä taloudellista veden niukkuutta saataisiin vähennettyä, millä voi olla merkitystä köyhyyden vastaisessa taistelussa. (IWMI, 2007) Tämä määrittämistapa mittaa ihmisen henkilökohtaista veden niukkuutta. Onko ihmisellä mahdollista saada tarvitsemansa vesi siitä huolimatta, että luonnossa vettä olisikin tarpeeksi.

Fyysinen veden niukkuus on termi, jolla tarkoitetaan tilannetta, kun vettä ei ole tarpeeksi kaikkiin vedenkäyttötarpeisiin, luonnon vedentarve mukaan lukien. Kun yli 75 % jokien virtaamasta käytetään maatalouden, teollisuuden ja vesihuollon tarpeisiin, alue kärsii fyysisestä veden niukkuudesta. Kuivat alueet ovat usein fyysisesti vesiniukkoja, mutta myös vesirikkaat alueet voivat kärsiä fyysisestä veden niukkuudesta, jos kulutus on suurta. Yleensä veden niukkuudella tarkoitetaan juuri fyysistä veden niukkuutta. Fyysisestä veden niukkuudesta seuraa muun muassa luonnon ekosysteemien rappeutumista ja pohjavedenpinnan alenemista. Veden niukkuuden vallitessa myös vähempiosaiset kärsivät helposti enemmän, koska tällöin veden hinta usein kasvaa. (IWMI, 2007)

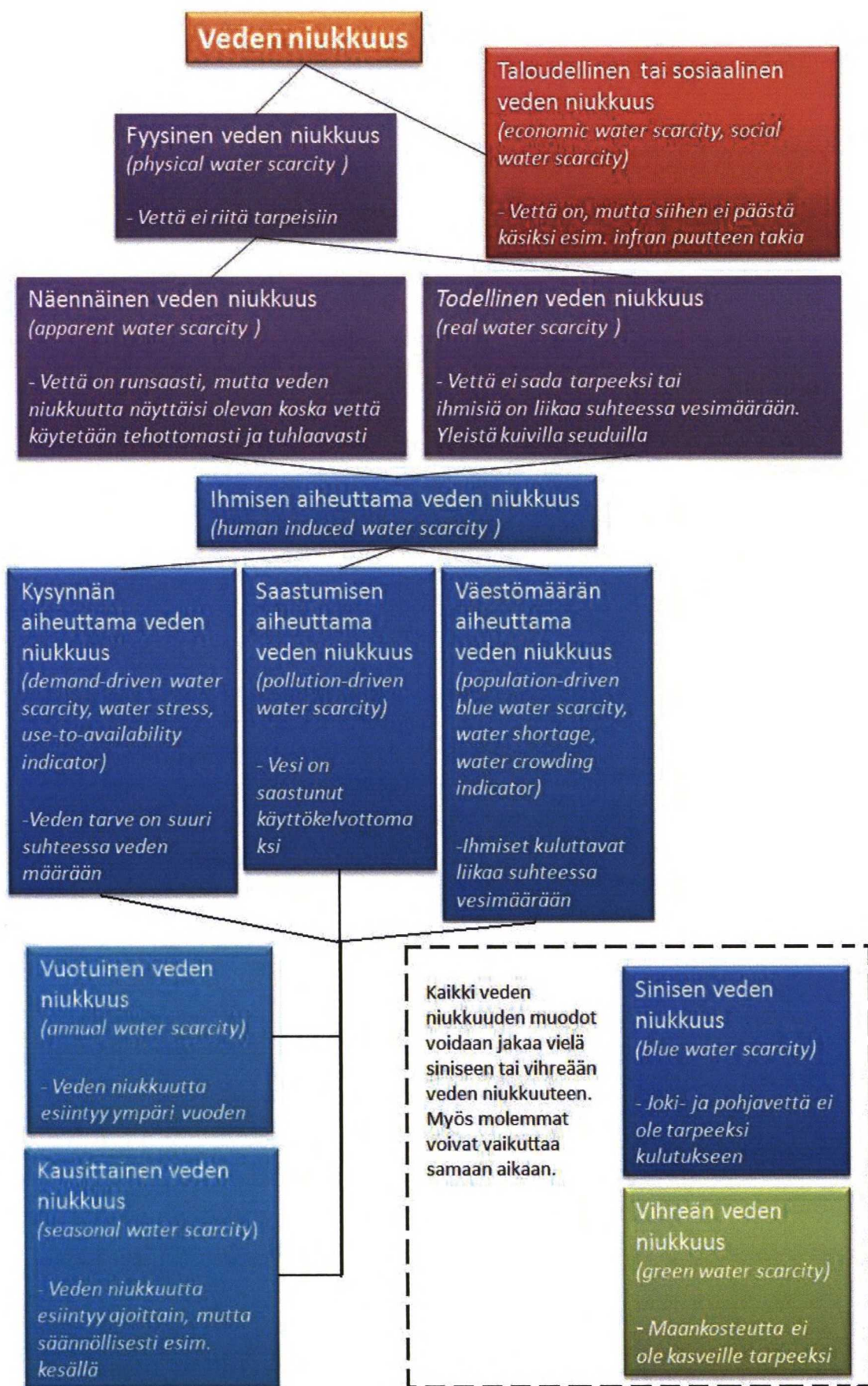
Lähestyvä fyysinen veden niukkuus vallitsee, jos 60 % jokien virtaamasta käytetään maatalouden, teollisuuden ja vesihuollon tarpeisiin. Jos toimenpiteisiin ei ryhdytä, kärsivät nämä alueet pian veden niukkuudesta.

Vähäinen tai olematon veden niukkuus vallitsee, jos alueen vesivarat ovat runsaat suhteessa käyttöön eli alle 25 % jokien vesistä on otettu käyttöön.



Kuva 2. Fyysisen ja taloudellisen veden niukkuuden alueet maailmassa vuonna 2007. (IWMI, 2007)

Kirjallisuudessa on monia erilaisia termejä ja määritelmiä veden niukkuudelle ja sen eri muodoille. Oheisessa kuvaajassa (Kuva 3) on eritelty kirjallisuudesta löytyviä termejä ja niiden yhteyksiä. Monesti samasta asiasta on puhuttu eri termeillä, koska vakiintunutta käytäntöä ei ole ollut. Harvoilla termeillä on suomenkielistä termiä, joten tässä työssä esitetyt käännökset eivät ole vakiintuneita suomen kielessä. Kuvan ylimmät termit, fyysinen ja taloudellinen veden niukkuus on selitetty edellä. Fyysinen veden niukkuus voidaan jakaa kahteen luokkaan: näennäiseen ja todelliseen veden niukkuuteen. Näennäinen veden niukkuus johtuu esimerkiksi tehottomasta veden käytöstä. Todellinen veden niukkuus taas johtuu liiallisesta veden käytöstä, vaikka käyttö olisikin tehokasta.



Kuva 3. Veden niukkuuden eri muotoja ja termejä kirjallisuudesta.

Ihmisen aiheuttama veden niukkuus, joka on siis fyysistä veden niukkuutta, voidaan jakaa kolmeen alaluokkaan: Kysynnän aiheuttamaan veden niukkuuteen, saastumisen aiheuttamaan veden niukkuuteen ja väestömäärän aiheuttamaan veden niukkuuteen (kuva 3). Kaikki nämä veden niukkuuden muodot voivat vaikuttaa joko ympäri vuoden tai vain kausittaisesti, esimerkiksi kesällä. Kaikki veden niukkuus voi myös olla sinisen tai vihreän veden niukkuutta. Hoekstra et al. (2011) mukaan sinisellä vedellä tarkoitetaan pinta- ja pohjavesiä. Kastelussa käytetään aina sinisiä vesiä, eli johdetaan järvi- tai jokivettä pellolle. Vihreä vesi tarkoittaa sadevettä sekä maaperään sitoutunutta vettä. Sinisen veden niukkuus tarkoittaa, että joki- ja pohjavedet ovat niukat. Vihreän veden niukkuus puolestaan tarkoittaa, että maankosteutta ei ole kasveille tarpeeksi. Yleensä veden niukkuudella tarkoitetaan sinisen veden niukkuutta, mutta molemmat ovat erittäin vahvasti sidoksissa toisiinsa.

2.1.1 Määrittämisen vaikeudet

Veden niukkuuden määrittämiseen liittyy useita ongelmia. Suuri osa ongelmista liittyy laajaan yleistämiseen. Luvut, joita yleensä käytetään, ovat maiden itse julkaisemia pitkän aikavälin keskiarvoja. Nämä luvut peittävät alleen vuosittaiset ja kuukausittaiset sekä myös alueelliset vaihtelut. Osittain ongelmiin päästään kiinni tarkemmilla indikaattoreilla ja malleilla, mutta tarkemman tiedon saanti köyhistä maista on erittäin haastavaa, koska tietoa ei ole, eikä sitä kerätä.

Seckler et al (1998) toteavat veden niukkuuden olevan haastava konsepti, koska sillä on myös sosiaalinen ulottuvuus. Veden niukkuus aiheuttaa taloudellista tappiota pienentyneiden satojen kautta. Vähentyneet tulot tai työttömyys johtavat usein sosiaaliin ongelmiin. Taloudellisen veden niukkuuden määrittäminen on epämääräistä ja perustuu melko summittaisiin lukuihin. Maissa joissa ei ole taloudellista veden niukkuutta, mutta esiintyy fyysistä niukkuutta, ongelmaksi nousevat eri mittaukset. Veden käyttöä voidaan mitata todellisen käytön tai veden tarpeen mukaan. Tulokset voidaan ottaa mallista tai havainnoista. Usein mitattua tietoa ei ole, jolloin pitää tyytyä arvioihin.

Ympäristövirtaama (environmental flow), eli luonnon ekosysteemien tarvitsema veden määrä, on myös haastavaa laskea. Monissa maissa siihen sisältyy lainsäädäntöä, mutta toisissa ei. Mitään selkeää yhteistä mittaria ei ole. Jokivesistöjen ekologiset tarpeet vaihtelevat suuresti vuodenaikojen ja vuosien aikana, myös alueellisesti, joten esimerkiksi mikään määrätty osuus virtaamasta ei olisi toimiva ratkaisu. Ympäristö-virtaamaa on käsitelty tarkemmin kohdassa 4.4.3.

2.2 Veden niukkuuden vaikutukset ihmisiin ja luontoon

Veden niukkuuden vaikutukset luontoon ja ihmisiin ovat hyvin samantyyppisiä kuin kuivuudessakin. Vaikutukset vaihtelevat veden niukkuuden vakavuuden ja keston mukaan, mutta myös yhteiskunnan, ekosysteemien herkkyyden ja talouden tilasta riippuen. Ympäristön tilalla, kuten esimerkiksi maa- ja pohjavesien määrällä ja veden varastotilavuudella, on merkittävä osuus vaikutusten vakavuuteen. Vesiniukat alueet ovat yleensä erityisen herkkiä ja haavoittuvaisia luonnollisen kuivuuden iskiessä. Jos veden niukkuus ylittää asetettuja raja-arvoja, voivat vaikutukset olla peruuttamattomia. Nämä vaikutukset voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin vaikutuksiin. Suorat vaikutukset ovat yleensä luontoon liittyviä ja epäsuorat sosiaalisia sekä taloudellisia.

Pereira et al. (2002) sekä Euroopan ympäristövirasto (EEA, 2005) ovat nimenneet suoriin veden niukkuuden vaikutuksiksi esimerkiksi vesiekosysteemin ja muun luonnon heikkenemisen, kun vettä on vähän ja jokien reunat kuivuvat. Kalojen kutupaikat vähenevät ja vaelluskalojen määrät voivat laskea. Levät saattavat lisääntyä voimakkaasti pilaten loput vedet. Pahimmassa tapauksessa koko joki kuivuu. Selkeitä vaikutuksia ovat myös pohjavedenpinnan laskeminen, uusiutumattomien vesivarojen kuihtuminen sekä eroosion voimistuminen. Rannikkoalueilla uhkana on myös pohjavesien suolaantuminen.

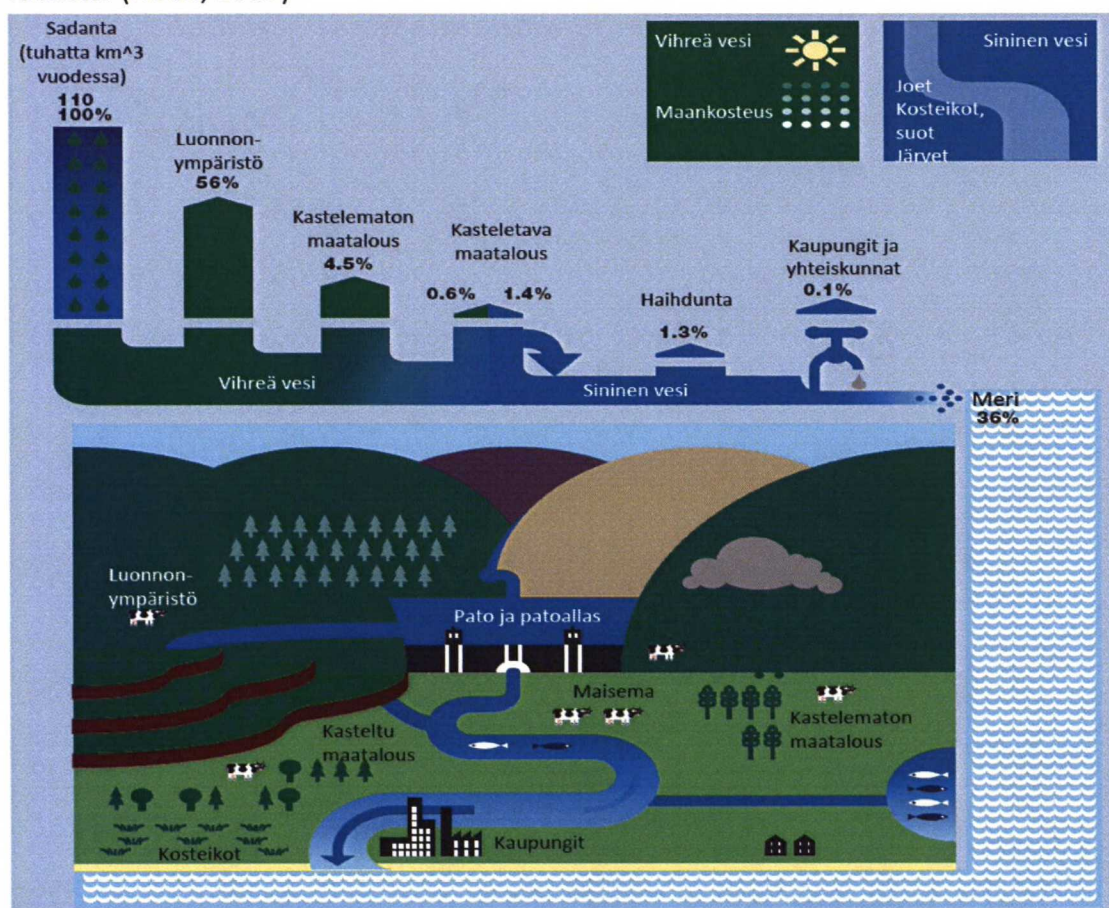
Epäsuoria veden niukkuuden vaikutuksia ovat Pereiran et al (2002) sekä EEA:n (2005) mukaan esimerkiksi pienentyneet sadot ja karjanhoidon vaikeudet, jotka johtavat maanviljelijöiden tulojen pienentymiseen ja ruuan hintojen nousuun sekä mahdollisesti työttömyyteen ja tätä kautta köyhyyden lisääntymiseen. Voimakas veden niukkuus voi ajaa ihmisiä muuttoliikkeeseen köyhissä maissa, koska se muun muassa johtaa kilpailuun veden käyttäjien kesken, koska vettä ei riitä kaikille. Jos ihmisille ei riitä talousvetä on vaarana hygienian heikkeneminen ja sairauksien leviäminen. Pitkään jatkunut veden niukkuus voi aiheuttaa ristiriitoja ja konflikteja vedenkäyttömuotojen välillä sekä aiheuttaa kansallisia ja kansainvälisiä konflikteja (water wars).

Veden niukkuus ja kuivuus ovat yhteiskunnalle kalliita. Suomessa vuosien 2002 ja 2003 kuivuus aiheutti arviolta 100 miljoonan euron menetykset (Silander & Järvinen, 2004). Kuivia kausia ei tietenkään voi estää, mutta niihin voi varautua. Vesiniukat alueet ovat herkimpiä kuivuudelle, joten vettä säästäviä toimenpiteitä on viisasta kohdentaa näille alueille.

2.3 Veden niukkuuteen johtavat syyt

Veden niukkuuteen johtavia syitä on monia ja ne vaihtelevat alueellisesti, mutta globaalisti yleisin veden niukkuutta aiheuttava tekijä on peltojen kastelu. Maa- ja karjalous käyttää 70 % ihmisen kuluttamasta sinisestä vedestä, eli yhteensä 2700 kuutiokilometriä. Teollisuus kuluttaa 20 % vedestä ja yhdyskunnat 10 % (IWMI, 2007). Kuvassa Kuva 4 on esitetty miten sinisen ja vihreän veden käyttö jakaantuu globaalisti. Maapallolla sataa maa-alueilla keskimäärin noin 110 000 Mm³ vuodessa. Tästä vedestä suurin osa, 56 % menee luonnonympäristön ylläpitoon vihreänä vetenä, eli esimerkiksi puiden ja nurmien evapotranspiraatioon. 4,5 % kuluu vihreänä vetenä kastelemattomaan maatalouteen ja karjalouteen. Kastelu maataloudessa, eli siis vesi, jota ihminen pumpppaa vihreän veden lisäksi käyttöönsä, kuluttaa 2 %. 1,3 % haihtuu sinisen vetenä joista, patoaltaista ja järvistä. Kaupungit ja yhteiskunnat kuluttavat vain 0,1 % talousvetenä. Loput 36 % valuu takaisin mereen.

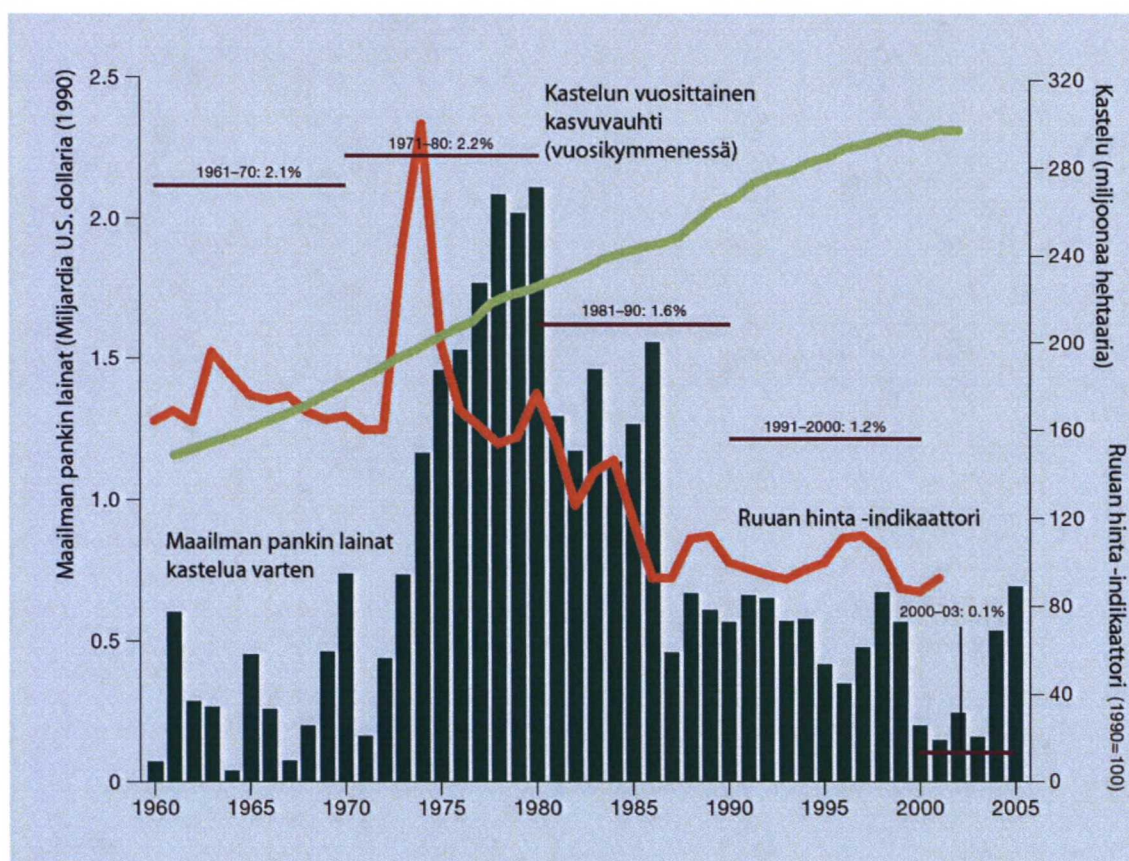
Kastelun osuus riippuu ratkaisevasti siitä, missä päin maapalloa pelto sijaitsee. Suomessa kasteluvettä ei juuri tarvita, koska vihreä vesi riittää useimmiten kasveille. Globaalisti noin 80 % maatalouden tarvitsemasta vedestä tulee suoraan sateesta, eli 20 % tulee kastelun kautta. Kastelluilla pelloilla tuotetaan kuitenkin 45 % kaikesta maailman ruuasta. (IWMI, 2007)



Kuva 4. Globaali sinisen ja vihreän veden kulutus. (IWMI, 2007)

Maapallon väestömäärä on kasvanut vauhdikkaasti viimeiset sata vuotta ja kasvaa edelleen. Tämä kasvava väestö tarvitsee koko ajan enemmän ruokaa. Väestömäärän lisäksi myös muuttuvat ruokailutottumukset, eli lisääntyvä lihansyönti, lisäävät viljan- tuotannon tarvetta. Kastelun määrä ja kehittyvät maanviljelystekniikat ovatkin onnis- tuneet pitämään ruoantuotannon kulutuksen tahdissa melko hyvin. Lisääntynyt kastelu kuitenkin rasittaa vesistöjä entisestään. Kastelun määrän lisääntyminen on viime vuo- sina toisaalta hieman laskenut. Kuvasta 5 voi havaita kuinka kastelun vuosittainen kas- vuvauhti on painunut lähelle nollaa 2000-luvulla. Maailmanpankin lainat kastelua var- ten ovat myös vähentyneet huomattavasti 70- ja 80-luvun huippuvuosista. Samaan aikaan ruuan hinta on kuitenkin pysynyt alhaisena. (IWMI, 2007)

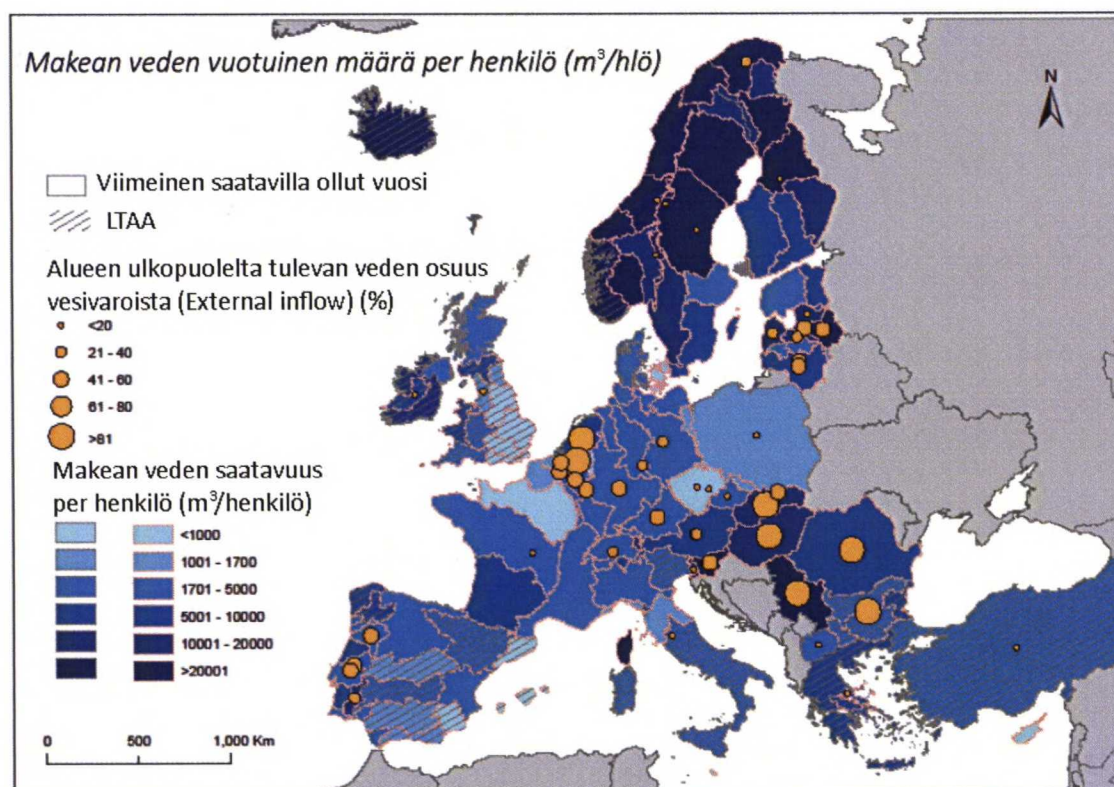
Kastelu ei ole kuitenkaan ainoa veden niukkuutta aiheuttava syy. Teollisuuden ja vesi- huollon tarvitsema veden määrä kasvaa koko ajan suhteessa kasteluun. Myös vesivoi- man ja jäähdytysveden kulutus kasvaa vauhdilla. Muita syitä veden niukkuuteen ovat myös muun muassa ilmastonmuutos, veden kulutuksen muutos, köyhyys, lainsäädän- tö, alakohtaiset resurssit, yhteiskunnalliset ongelmat ja vedenlaatu-ongelmat. Useim- miten ihmisen veden tarve menee luonnon ekosysteemien vedentarpeen edelle. (IWMI, 2007)



Kuva 5. Globaalin kastelun määrä (vaalean vihreä) suhteessa Maailmanpankin lainoitukseen (tumman vihreä) ja ruuan hinta -indeksiin (oranssi). (IWMI, 2007)

2.4 Veden niukkuus Euroopassa

Euroopan uusiutuvat vesivarat ovat melko runsaat, mutta epätasaisesti jakautuneet, etenkin jos suhteutetaan asukaslukuun. Pohjoismaissa uusiutuvaa vettä riittää Tanskaa lukuun ottamatta jokaista asukasta kohden yli 20000 m³ vuodessa, Norjassa ja Islannissa huomattavasti enemmänkin. Unkari, Hollanti, Belgia ja Saksa taas ovat esimerkkejä maista jossa uusiutuvia vesivaroja on alle 2000 m³ per henkilö. Vesienhoitoalueille tai valuma-alueetasolle mentäessä löytyy alueilta joissa vettä riittää alle 1000 m³ per henkilö, kuten kuvasta 6 voi nähdä (Kossida et al. 2012).

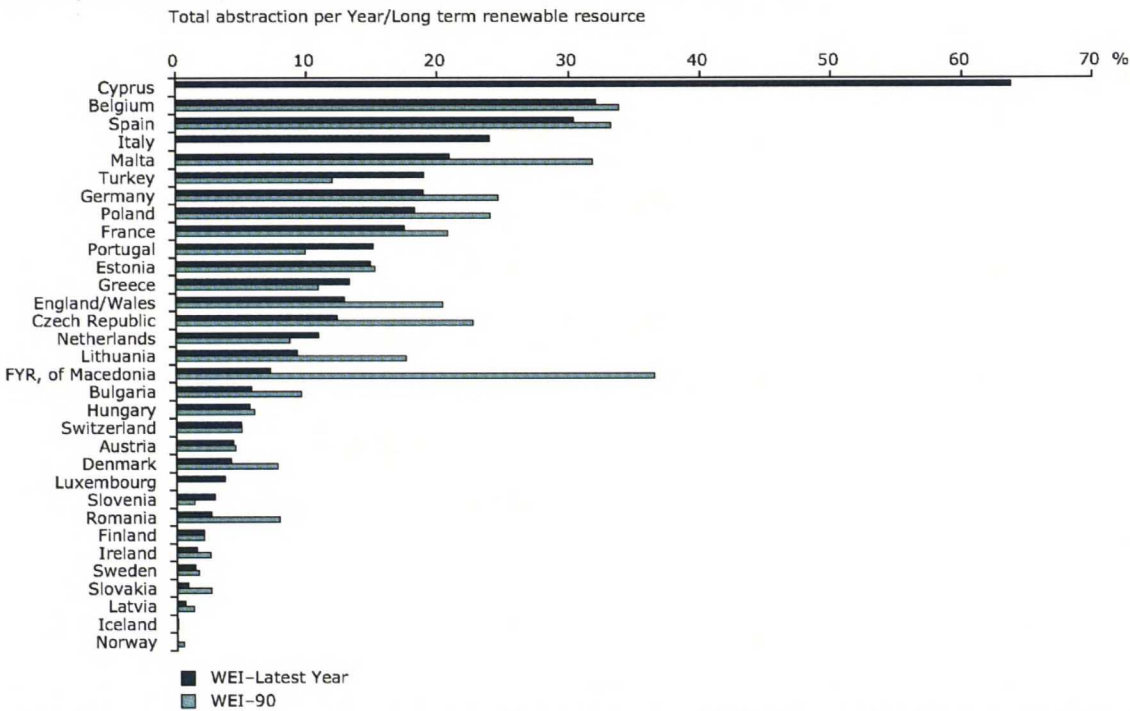


Kuva 6. Vesivarojen jakaantuminen Euroopassa per henkilö. (Kossida et al. 2012)

Euroopan ympäristövirasto (EEA, 2009) on laskenut maakohtaisesti vedenniukkuusindikaattorin vuositasolla. Raportissa alempana niukkuusrajana pidetty 20 % ylittyi viidessä maassa: Belgiassa, Italiassa, Maltalla ja Espanjassa. 40 % vakavana veden niukkuutena pidetyn rajan ylitti Kypros (64 %). Kuvassa 7 on esitetty vuoden 1990 WEI - arvo sekä viimeisin saatavilla ollut WEI - arvo. Viimeisimpien vuosien tiedot vaihtelevat maasta riippuen vuosien 1998–2007 välillä.

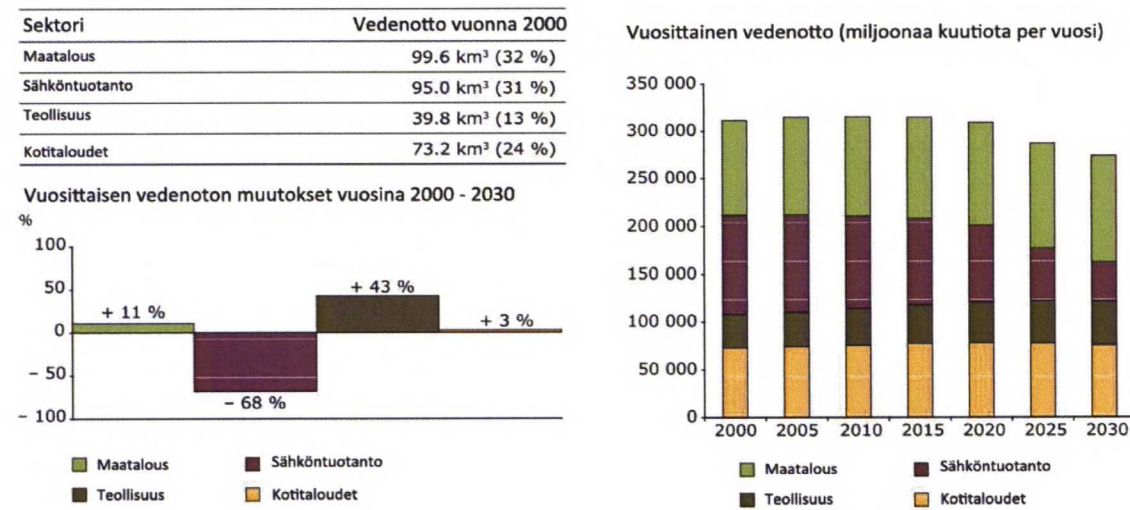
Merkittävä osa Euroopan vedenotosta muodostuu maatalouden kastelusta. Keskimäärin kasteluun menee Euroopassa noin 24 % kaikesta vedenotosta, mutta Etelä-Euroopan maissa osuus on yli 80 %. Ravinnon tuotantoon tarvittavan kastelun merkitys on siis ratkaiseva vesivarojen riittävyyden kannalta erityisesti Etelä-Euroopassa, jossa

runsasta kastelua tarvitaan hyviin satoihin vuosittain. Riittämätön kastelu johtaa useiden kymmenien prosenttien sadonmenetyksiin. (Seuna 2012)



Kuva 7. Vuoden 1990 WEI arvot Euroopan maissa verrattuna viimeisimpään saatavilla olevaan arvoon (1998-2007). (EEA, 2009)

Euroopassa vedenoton on ennustettu vähenevän 10 % vuoteen 2030 mennessä, johon enimmäkseen jähdytysveden tarpeen vähenemisestä. Kuva 8 näyttää eri sektoreiden vedenoton ennustettua muutosta ja määriä vuosien 2000 ja 2030 välillä. Etelä-Euroopassa veden tarve kasvaa, koska ilmastonmuutos vähentää sadantaa alueella, jolla on jo muutenkin suuria haasteita veden niukkuuden kanssa. (European Environment Agency, 2005)



Kuva 8. Euroopan vedenotto ja sen muutokset vuoteen 2030 mennessä (Islanti poisluettuna). (EEA, 2005)

2.5 Veden niukkuus Suomessa

Suomen vesivarat ovat asukaslukuun ja veden käyttöön nähden runsaat. World Water Council ja Britannian Centre for Ecology and Hydrology arvioivat Suomen veden suhteen maailman rikkaimmaksi maaksi (Kaurala & Hellström, 2008).

Suomessa on arviolta $108\,000\text{ Mm}^3$ uusiutuvia vesivaroja vuodessa, eli noin $22\,100\text{ m}^3$ makeaa vettä per henkilö. Tästä kulutamme noin 440 m^3 per henkilö (Etelämäki, 1999; Tilastokeskus, 2000). Suomessa pumpattiin vuonna 1996 Etelämäen (1999) mukaan 1780 Mm^3 vettä, josta 68 % oli merivettä jäähdytysvedeksi. Maa- ja metsätalousministeriön (2009) mukaan teollisuuden vedenkulutus olisi kuitenkin vuonna 2009 jopa 9500 Mm^3 , enimmäkseen myös jäähdytysvettä. Käytämme siis lähteestä riippuen kahdesta kymmeneen prosenttia vesivaroistamme. Suomessa on kuitenkin alueita jotka kärsivät lievästä veden niukkuudesta kesäisin, kun peltoja kastellaan ja haihdunta on suurta.

Suomessa oli vuoden 2010 maatalouslaskennan mukaan $2\,286\,000$ hehtaaria peltoja, joista $68\,600$ hehtaaria, eli vain 3 % oli kastelun piirissä (Tike, 2010). Pajulan ja Triipposen (2003) mukaan eniten kastelua Suomessa tarvitaan Etelä- ja Varsinais-Suomessa, joissa kasteltavia peltoja kastellaan vuodessa keskimäärin noin 600 m^3 hehtaarilta. Suomessa viljelykasvien kastelu onkin yleensä täydentävää. Kastelun lisäksi vettä käytetään hallantorjuntaan. Kastelu oli hyvin voimakkaassa kasvussa 1960–70-luvuilla, mutta sijoituslannoitus- ja kylvökoneiden kehittymisen myötä kastelun tarve väheni, koska siemenen itävyys parani ilman kasteluakin. Suomessa eniten vettä kuluttaakin teollisuus.

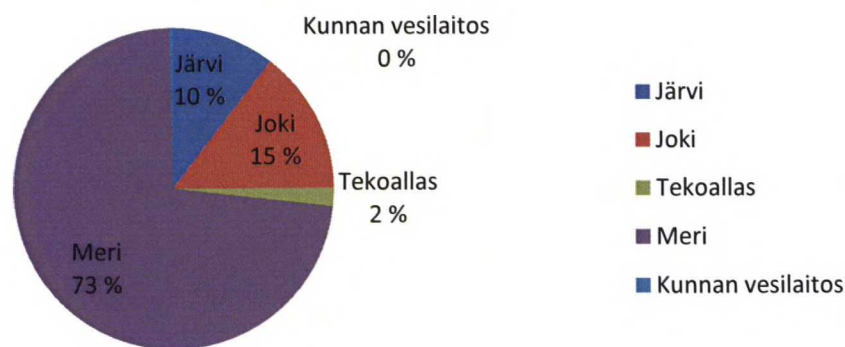
Suomessa eniten vettä vuonna 1996 käytti teollisuus (85 %), sitten kotitaloudet (12 %) ja viimeisenä maatalous (3 %) (World Resources Institute (WRI), 1996). Suomalaisten ominaisvedenkulutus on ollut laskussa jo vuodesta 1972, jolloin se oli 335 l/as/vrk . Nykyisin ominaisvedenkulutus on arviolta 240 l/as/vrk (Etelämäki, 1999).

Tilastokeskuksen (2011b) mukaan Suomen teollisuus käytti vuosina 2003–2010 keskimäärin 6100 Mm^3 vettä. Suurin osa tästä vedestä oli jäähdytysvettä (noin 78 %), joka palautuu vesistöön nopeasti ja lähes samanlaatuisena. Prosesseihin käytetään vettä noin 11 %. Suuret, jäähdytysvettä käyttävät laitokset, kuten voimalat, ottavat jäähdytysveden usein suoraan merestä. Kaikesta teollisuuden vedenotosta Suomessa, keskimäärin 73 %, tulee merestä, eikä siten vaikuta makeista vesistä koostuviin vesivaroihin. Loput teollisuuden vesistä tulevat joista, järvistä ja tekoaltaista, sekä pieni määrä myös kunnan vesilaitoksilta (Kuva 9). Etelämäen (1999) mukaan voimalaitokset vastasivat

62 % kaikesta teollisuuden vedenotosta vuonna 1995. Massa- ja paperiteollisuus käytti 17 % ja öljy- ja petrokemianteollisuus 12 %.

Talouksien ja teollisuuden käyttämä veden määrä pysyy ympäri vuoden melko tasaisena, mutta kastelu tapahtuu kesällä. Kastelun vuosittaiset ja alueelliset vaihtelut voivat olla suuria.

Teollisuuden vedenoton lähteet keskimäärin vuosina 2003-2010



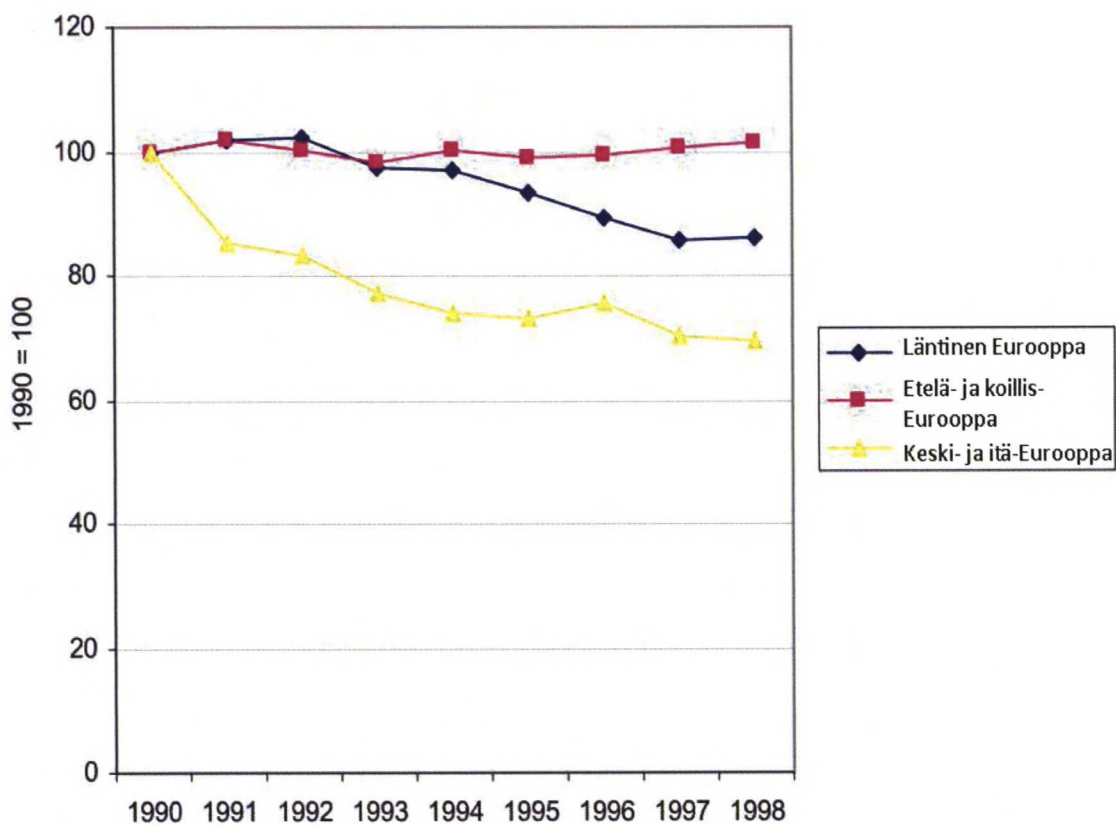
Kuva 9. Teollisuuden vedenoton lähteet keskimäärin vuosina 2003-2010. (Tilastokeskus, 2011b)

2.6 Veden niukkuus tulevaisuudessa

Veden niukkuus maailmassa tulee kaikkien ennusteiden ja tutkimusten mukaan lisääntymään tulevaisuudessa. IWMI:n (2007) mukaan kolme suurinta veden niukkuutta lisäävää tekijää ovat väestönkasvu, ruokatottumusten muutos liharuokia suosivampaan suuntaan ja ilmastonmuutos. Heidän ennusteidensa mukaan viljelykasvien tuotanto melkein kaksinkertaistuu seuraavan 50 vuoden aikana. Suurena tekijänä on lihantuotannon lisääntyminen. Lisääntynyt viljely taas tarkoittaa useimmiten myös lisääntyvää kastelua.

EEA:n (2005) julkaiseman ennusteen mukaan Euroopassa vesivoimaan käytetty vesi vähenee, joten Keski-Euroopan veden niukkuus vähenee (etenkin Reinin ja Elben alueella). Etelä-Euroopassa ja Ranskassa tilanne on kuitenkin toinen. Siellä EEA:n skenaarioissa ilmastonmuutoksen aiheuttaman kuivuuden ja kastelun lisääntymisen ennustetaan pahentavan tilannetta. Kaakkois-Euroopan tilanteen ennustetaan myös heikkenevän. Suomella, muiden pohjoismaiden tavoin, ei ole veden niukkuutta tulevaisuudessakaan. Kuvassa 10 on esitetty vedenoton trendiä 1990-luvulla. Sen mukaan vedenotto on vähentynyt Keski-Euroopassa ja pysynyt melko tasaisena Lounais-Euroopassa.

Suomessakin veden niukkuuteen vaikuttavat tulevaisuudessa ilmastonmuutos, väestönmuutokset, ruokailutottumukset sekä teollisuuden ja maatalouden mahdolliset rakennemuutokset. Suomen väkiluvun ennustetaan kasvavan melko maltillisesti. Tilastokeskuksen mukaan Suomen väkiluku on vuonna 2042 6 miljoonaa (Tilastokeskus, 2012). Ruokailutottumukset todennäköisesti muuttuvat, mutta eivät kuitenkaan merkittävästi. Teollisuuden vedenotto mahdollisesti pienenee, jos tehtaita suljetaan. Maatalouden vedenotto Suomessa on hieman laskenut viime vuosina. Mutta jos Suomen väestömäärä kasvaa, niin peltomäärätkin lisääntyvät hieman. Kasteltavan pellon määrä kuitenkin tuskin radikaalisti lisääntyy. Suurin muuttuja onkin luultavasti ilmastonmuutos. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneelin (IPCC, 2007) tekemien päästöskenaarioiden ja niihin perustuvien ilmastonmuutosprojektioden mukaan Suomen keskilämpötila nousee 2–7 astetta vuoteen 2080 mennessä, ja sadanta lisääntyy 5–40 % (Veijalainen et al. 2012). Ilmastonmuutoksen on kuitenkin ennustettu lisäävän kesien kuivuutta, mikä lisäisi kastelua silloin kun vesistöt ovat muutenkin niukimmillaan.



Kuva 10. Vedenoton kehitys 1990-luvulla Euroopassa. (EEA, 2005)

3 Indikaattorit ja niiden tarkoitus

Indikaattorit mielletään yleensä tilastollisina lukuina, jotka kuvaavat tai ilmaisevat jostain monimutkaisempaa asiaa tiiviimmässä muodossa. Ne voivat kuitenkin olla myös esimerkiksi valokuvia, karttoja tai aikasarjoja (Rosenström & Palosaari, 2000). Parhaassa tapauksessa indikaattori voi tiivistää monimutkaisia ja laajoja kokonaisuuksia, mutta olla samaan aikaan tarkka, luotettava ja helposti ymmärrettävä. Tästä syystä niitä käytetään usein poliittisen päätöksenteon tukena tai yleisen tietoisuuden lisäämiseen.

Indikaattoreilla voidaan kuvata melkein mitä tahansa ilmiötä tai asiaa. Sovelluksia ovat esimerkiksi otsonin määrä yläilmakehässä, bruttokansantuote (BKT) tai porojen määrä Suomessa. Myös kuvattavan asian skaala voi vaihdella pienestä ojasta koko maapalloon. Indikaattoreita on pitkään käytetty ympäristön tilan kuvaamiseen, sillä luonto on hyvin moniulotteinen ja laaja. Indikaattoreilla voidaan kuvata esimerkiksi luonnon monimuotoisuutta ja kestäväää käyttöä. Ympäristöä kuvaavat versiot antavat kuvaa luonnon tämän hetkisestä tilasta tai tilan kehityksestä. (Rosenström & Palosaari, 2000)

Indikaattorit ovat yksinkertaistavia, joten suora johtopäätösten vetäminen yhden indikaattorin perusteella voi olla vaikeaa tai harhaanjohtavaa. Tästä syystä niitä käytetään usein yhdessä toisten samaan aihepiiriin kuuluvien mittareiden kanssa (Rosenström & Palosaari, 2000). Myös suunnitelmassa Euroopan vesivarojen turvaamiseksi oleva vedenniukkuusindikaattori (WEI+) on osa suurempaa vesistöjä ja vesien tilaa kuvaavaa indikaattoripalettia.

Indikaattoreilla on havaittu olevan kolme selvää päätarkoitusta (Rosenström & Lyytimäki, 2006):

1. Tiedon koonti ja yhdistäminen
2. Yleisen tietoisuuden lisääminen
3. Tiedon tarjoaminen päätöksentekijöille

Indikaattoreiden tarjoaman tiedon pohjalta tehdään siis paljon päätöksiä ja välitetään tietoa. Ei siis ole yhdentekevää miten ne valitaan ja valmistellaan. Hyvällä indikaattorilla onkin useita vaatimuksia ja kriteereitä esimerkiksi luotettavuuden ja käyttökelpoisuuden osalta. (Rosenström & Palosaari, 2000)

3.1 Indikaattoreiden laadulliset vaatimukset

Indikaattoreilla on yleisesti ottaen kolme erilaista kohderyhmää: päätöksentekijät, tavalliset kansalaiset ja muut tutkijat. Kohderyhmästä riippuen indikaattorilla on erilaisia vaatimuksia. Hyvän indikaattorin tulisi yleisesti ottaen olla luotettava, yksinkertainen, vertailukelpoinen ja ajan tasalla (Rosenström, 2009). Nämä ovat laajoja termejä, jotka pitävät sisällään useita tarkempia kriteereitä. Nämä kriteerit voidaan kuitenkin jakaa kahteen kategoriaan: teknisiin ja viestinnällisiin. Tekniset kriteerit ovat niitä vaatimuksia jotka kuvaavat kuvattavan ilmiön ja indikaattorin välistä suhdetta. Eli esimerkiksi kuinka suuria laskennan virhemarginaalit saavat olla. Viestinnälliset vaatimukset taas liittyvät siihen, kuinka hyvin indikaattori pystyy ilmaisemaan tiedon eteenpäin (Gray & Wiedemann, 1999). Eli esimerkiksi kuinka hyvin se on kohderyhmän ymmärrettävissä ilman syvempää asiantuntemusta.

Indikaattoreiden vaikutuksia päätöksentekoon on tutkittu vähän. EU-rahoitteisessa Policy Influence of Indicators-hankkeessa (POINT) on asiaa yritetty selvittää. POINT-hankkeessa tutkittiin strategiassa ja arvioinneissa käytettävien indikaattoreiden vaikutavuutta ja ominaisuuksia. Erityisesti kohteena oli indikaattoreiden vaikutus kestäväan kehitykseen ja päätöksentekoon. Työssä kartoitettiin myös tilanteita, joissa indikaattoreita ei voi käyttää. (Lyytimäki et al. 2011)

3.2 Ympäristön tilaa kuvaavat indikaattorit

Ympäristön tilaa kuvaavat indikaattorit kehitettiin pitkälti poliitikkoja varten (Rosenström & Lyytimäki, 2006). Tarve ympäristöä kuvaaville indikaattoreille nousi selvästi esiin YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssissa Rio de Janeirossa vuonna 1992. Konferenssissa sovittiin kestävän kehityksen periaatteet sisältävä julistus (United Nations, 1992), jonka mukaan taloudellinen ja sosiaalinen kehitys on sovitettava luonnonvarojen määräämiin raameihin tai siten että tulevilla sukupolvilla on samat mahdollisuudet hyvään elämään kuin nykyisellä. Yhdessä julistuksen kanssa julkaistiin toimintaohjelma, Agenda 21 (The United Nations Conference on Environment and Development, 1992), jolla kestäväa kehitystä pyritään edistämään ja jossa todetaan tarve kehittää menetelmiä ajankohtaisen, luotettavan ja käyttökelpoisen tiedon tuottamiselle kestävän kehityksen edistämiseksi. Tämän seurauksena YK aloitti indikaattorien kehittämisen vuonna 1995. Jäsenmaat testasivat pakettia jossa oli 134 indikaattoria, joilla pyrittiin parantamaan kansainvälistä vertailua. (Rosenström & Palosaari, 2000; Lyytimäki & Rosenström, 2009)

Ympäristöindikaattoreiden tärkein tehtävä globaalisti on nimenomaan maailman eri kolkkien tasapuolinen ja luotettava vertailu. Tällaisessa vertailussa puolueeton taho, kuten YK, on erityisen tärkeä. Globaalissa mittakaavassa tiedon määrä on valtava ja tiedon laatu ja oikea-aikaisuus vaihtelevat paljon.

3.3 Indikaattorit Euroopan unionissa

Euroopan unionissa indikaattoreita käytetään paljon. Jäsenmaat ovat erilaisia, ja tietoa on paljon, joten indikaattorit ovat tärkeä osa Euroopan laajuisen päätöksenteon tukea. Suurimman osan indikaattoreista tuottaa Eurostat, mutta ympäristöä kuvaavat indikaattorit tuottaa Euroopan ympäristövirasto (EEA, European Environment Agency). Asetus EEA:n perustamisesta tehtiin vuonna 1990. EEA:n tehtävä on tuottaa perinpohjaista ja riippumatonta kuvaa ympäristöstä. EEA tuottaa tietoa Euroopan komissiolle, Euroopan parlamentille, Euroopan neuvostolle ja EEA:n jäsenvaltioille. EEA:lla on yhteensä 230 erilaista ympäristön tilaa tai siihen liittyvää indikaattoria, joista 22 liittyy veteen. (European Environment Agency, 2012)

Euroopan komissio (2012) laati tiedoksiantona päivityksen vuonna 2000 julkaistuun vesipuitedirektiiviin marraskuussa 2012. Tiedoksiannon nimi on suunnitelma Euroopan vesivarojen turvaamiseksi (A Blueprint to Safeguard Europe's Waters). Suunnitelmassa määritellään kauaskantoisia suuntaviivoja Euroopan ympäristön tilasta, joiden pitäisi olla voimassa ainakin vuoteen 2050 asti. Sen tehtävänä on kehittää toimenpiteitä veden saatavuuteen ja määrään liittyviin ongelmiin. Tavoite on varmistaa hyvälaatuisen veden riittävä määrä. Tavoitteeseen pyritään muun muassa vedenkäytön tehokkuutta parantamalla ja EU:n jäsenvaltioiden vesipolitiikkaa yhtenäistämällä. Suunnitelma perustuu suurelta osin kolmeen erilliseen arviointiin:

1. Vesipuitedirektiivin vesienhoitoalueiden suunnitelmien toteutuminen
2. Veden niukkuus ja kuivuus sekä käytön tehokkuus
3. Vesien haavoittuvuus ilmastonmuutoksen johdosta

Kaikissa arvioinneissa indikaattorit ovat oleellisessa osassa raporttien päätelmiä. Kuva 11 havainnollistaa kuinka suunnitelman Euroopan vesivarojen turvaamiseksi osa-alueet ja aikataulutus on suunniteltu. (Seuna, 2012; Euroopan komissio, 2012)



Kuva 11. EU:n suunnitelman Euroopan vesivarojen turvaamiseksi sekä sen askeleet ja osa-alueet. (European Comission, 2012)

Euroopan komission tiedoksiannon ”suunnitelma Euroopan vesivarojen turvaamiseksi” ehdottamat indikaattorit vaikuttavat myös Suomessa. Vaikka esimerkiksi kastelu ei Suomessa ole kovin suuri asia, voi sitä koskevalla Euroopan unionin harmonisointipäätöksillä olla merkitystä myös Suomen kannalta. Suomessa hyväksyttiin vuonna 2004 lakeja, jotka toteuttavat Euroopan Unionin vuonna 2000 laatiman vesipolitiikan puite-direktiivin (Euroopan parlamentin ja neuvoston päätös N:o 2455/2001/EY). Vuonna 2007 käynnistettiin vesienhoitolain mukainen seuranta (VHS-seuranta), jossa biologisen seurannan osuus on aiempaa mittavampi. VHS-seurannalla on toimeenpantu vesipuite-direktiivissä edellytettyä seuranta (Valtioneuvoston periaatepäätös, 2006). Vesipuite-direktiivin tarkoitus on yhtenäistää EU:n vesiensuojelua, sekä ehkäistä pinta- ja pohja-vesien tilan heikkeneminen koko EU:n alueella. Komission suunnitelma Euroopan vesivarojen turvaamiseksi on jatkoa tälle direktiiville.

4 Olemassa olevia vedenniukkuusindikaattoreita

Tässä luvussa on esitelty joitakin erilaisia tapoja indikoida veden niukkuutta. Vedeniukkuusindikaattorit voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään. Ensimmäinen ryhmä perustuu ihmisten määrään tietyllä alueella suhteessa käytettävissä oleviin vesivaroihin. Tässä ryhmässä veden niukkuus määritellään erilaisilla raja-arvoilla. Raja-arvot veden niukkuuden asteista taas tulevat ihmisen tutkitusta välttämättömästä vedentarpeesta tai ominaisvedenkulutuksesta (Gleick, 1996).

Toinen tapa laskea veden niukkuutta on verrata kaikkea veden käyttöä tai tarvetta suhteessa käytettävissä oleviin vesivaroihin. Tässä lasketaan kotitalouksien käyttämän veden lisäksi mukaan myös maanviljely ja teollisuuden vedenkäyttö.

Kolmas ja uusin tapa laskea veden niukkuutta on vesijalanjäljen kautta. Eli käytettyä vettä ei lasketa vedenkulutuksen avulla, vaan se lasketaan valmistettavan lopputuotteen valmistukseen kuluneen veden kautta, eli vesijalanjälkikonseptin avulla. Tällä tavalla myös ympäristövirtaama, eli luonnon ekosysteemien veden tarve, voidaan laskea helpommin mukaan. (Mekonnen & Hoekstra, 2011)

4.1 Ihmisten vedentarpeeseen perustuvat indikaattorit

Veden niukkuuden indikoiminen ei ole aivan uusi ajatus. Ensimmäinen julkisuutta saanut vedenniukkuusindikaattori oli Falkenmarkin (1989) vedenniukkuusindikaattori tai vesistressi-indikaattori. Falkenmarkin indikaattori mittaa valtioiden veden niukkuutta vertaamalla valtiossa olevia vesivaroja sen väestömäärään. Falkenmark määritteli maat luokkiin tai tiloihin saatavilla olevan veden perusteella. Luokkia on neljä: ei vesistressiä, vesistressi, veden niukkuutta ja täydellinen veden niukkuus (Taulukko 2). Indikaattori on helppo toteuttaa koko maailman mittakaavassa, mutta se on erittäin yleistävä eikä käsittele vesistöalueita vaan maita. Vesivarat voivat jakaantua maassa erittäin epätasaisesti, joten tämä indikaattori ei kerro juuri mitään vedenkäytön vaikutuksista (Milà i Canals, et al., 2009). Falkenmarkin indikaattoria käytetään jonkin verran edelleen, ja sitä on myös sovellettu tarkempaan mittakaavaan, kuten esimerkiksi maapallon pallokoordinaatistossa puolen asteen hilakokoon. (EEA, 2010).

Taulukko 2. Falkenmarkin (1989) vedenniukkuusindikaattorin raja-arvot

Indeksi (m ³ /asukas/vuosi)	Luokka / Tila
> 1700	Ei vesistressiä
1000 – 1700	Vesistressiä
500 – 1000	Veden niukkuutta
< 500	Täydellinen veden niukkuus

Gleick (1996) kehitti vedenniukkuusindikaattorin joka määrittä, että ihmisen perustarpeisiin kuluu 50 litraa vettä päivässä. Gleick ja Falkenmark (1996) kehittivät "minimi standardiksi" 1000 m³ vettä asukasta kohti vuodessa. Myös Maailmanpankki on hyväksynyt tämän standardin.

Ohlsson (2000) rakensi Falkenmarkin indikaattorin päälle oman indikaattorinsa, joka ottaa huomioon myös sosiaalisen ulottuvuuden. Ohlsson (2000) lisäsi Falkenmarkin indikaattoriin painottavaksi tekijäksi UNDP:n (United Nations Development Programme) inhimillisen kehityksen indeksin (Human Development Index, HDI). Kaikissa yllämainituissa indikaattoreissa ihminen ja ihmisen vedentarve ovat tarkastelun kohteena ja luonnon vedentarve on sivuutettu. Tämä näkökanta myös sivuuttaa sen tosiasian, että virtuaalista vettä tuodaan paljon muista maista (Hoekstra & Hung, 2005).

4.2 Vesivarojen herkkyyteen tai riittävyyteen perustuvat indikaattorit

Ihmisten ominaisvedenkulutukseen perustuva indikointi tapahtuu yleensä maa- ja vuositasolla. Laskemalla todellista vedenkulutusta tai – tarvetta, perustuen esimerkiksi teollisuuden ja maatalouden määrään eri valuma-alueilla, päästään paljon tarkempaan tulokseen. Maan sisällä voi olla hyvin erilaisessa tilanteessa olevia vesistöjä, joihin ei päästä käsiksi ellei tarkastella veden niukkuutta vesistötasolla. Raskin (1997) luonnostelivat ensimmäinen veden todelliseen kulutukseen perustuva vedenniukkuusindikaattorin, jonka pohjalta kehiteltiin Water Resources Vulnerability Index, joka kertoo vedenoton määrän suhteessa käytettävissä oleviin vesivaroihin. Tästä prosenttiarvosta käytetään usein nimitystä WTA -luku. Määritelmän mukaan maassa on veden niukkuutta jos WTA-luku on välillä 20-40 % ja maa kärsii ankarasta veden niukkuudesta jos WTA-luku on yli 40 % (Alcamo et al. 2003). WTA-luvun pohjalta on kehitetty sittemmin useita versioita vedenniukkuusindikaattoreista, joissa on otettu mukaan myös ympäristövirtaama, esimerkiksi Smakhtin et al (2004). Ympäristövirtaamaa on selitetty tarkemmin kohdassa 4.4.3.

Euroopan komission suunnitelma Euroopan vesivarojen turvaamiseksi sisältää WEI+ indikaattorin, joka kuuluu vesivarojen herkkyyteen perustuvien indikaattorien ryhmään. Indikaattorissa lasketaan yhteen vedenotto mittausten ja arvioiden perusteella. Tästä vähennetään takaisin vesistöön palautuva vesi. Saatu luku jaetaan käytettävissä olevilla luonnollisilla vesivaroilla. Näin saatava prosentuaalinen suhdeluku kuvastaa kuinka paljon käytettävissä olevista vesivaroista käytetään tiettyä ajanjaksona. Ympäristö-virtaama otetaan huomioon raja-arvoissa. Eli jos vesistön WEI+ arvo on 40 %, jota on aikaisemmin pidetty vakavan veden niukkuuden raja-arvona, jää 60 % vedestä ympäristövirtaamalle. Tämä voi olla liian vähän, ollen mahdollisesti erittäin haitallista jokiekosysteemille. Ympäristövirtaama vaihtelee kuitenkin vesistön ominaisuuksista riippuen, joten indikaattorissa joudutaan yleistämään. Lopullisia WEI+ raja-arvoja ei ole vielä päätetty.

4.3 Vesijalanjälkeen perustuvat indikaattorit

Hoekstra et al. (2009) kehittivät tavan käyttää vesijalanjälkeä vedenkulutuksen arvioimiseen, mittaamisen sijaan. Hoekstra on vienyt menetelmää sittemmin pidemmälle jakamalla indikaattorin vihreään, siniseen ja harmaaseen jalanjälkeen sekä kuukausitasolle (Hoekstra & Mekonnen, 2011; Mekonnen & Hoekstra, 2011). Jalanjälkimetodin hyviä puolia ovat muun muassa se, että siinä otetaan huomioon koko hankintaketju sekä palautuva vesi. Useimmissa vedenniukkuus-indikaattoreissa näitä ei oteta huomioon lainkaan.

Viimeisin globaali vedenniukkuusindikaattori lieneekin juuri Hoekstran ja Mekonnenin (2011) julkaisema indikaattori, jota käytettiin kuvaamaan veden niukkuutta kuukausitasolla maailman suurissa vesistöissä sinisen vesijalanjäljen kautta. Tutkimus ottaa huomioon myös ympäristövirtaaman.

4.4 Veden niukkuutta kuvaavien indikaattoreiden parametrit

Vedenniukkuusindikaattoreissa lasketaan yleensä ihmisten aiheuttama vedenkulutus suhteessa fyysisiin uusiutuviin vesivaroihin. Nimittäjä on siis *'käytettävissä olevat uusiutuvat vesivarat'* ja osoittaja on *'ihmisen aiheuttama vedenkulutus'* (kaava 1). Nämä arvot voidaan kuitenkin laskea tai arvioida monella eri tavalla. Alla on esitelty muuttujia, joita yleensä käytetään vedenniukkuusindikaattoreissa.

$$\text{Veden niukkuus} = \frac{\text{Ihmisen aiheuttama vedenkulutus}}{\text{Käytettävissä olevat uusiutuvat vesiarat}} \quad (1)$$

4.4.1 Ihmisen aiheuttama vedenkulutus

Ihmisen aiheuttamalla vedenkulutuksella tarkoitetaan kaikkea sitä vettä, jonka ihminen poistaa vesistöstä omiin käyttötarkoituksiinsa. Näitä tarkoituksia ovat kotitalouksien vesi, maatalouden kastelu- ja karjanhoitovedet sekä teollisuuden prosessi- ja jäähdytysvedet. Mukaan pitää laskea myös muihin vesistöihin johdetut vedet, esimerkiksi Paimionjoesta Aurajokeen johdettava vesi. Paimionjoesta kuivina aikoina pumppavalla vedellä on turvattu riittävän raakaveden määrä Turun seudun alueella.

Monia yllä olevia kulutusmuotoja ei Suomessa eikä usein maailmallakaan tarkasti mitata, joten täysin luotettavia tietoja ei ole. Laskut perustuvatkin usein esimerkiksi valtakunnallisiin ominaiskulutusarvioihin ja -laskuihin. Falkenmark (1989) vertasi käytettävissä olevia vesivaroja suoraan ihmisten määrään, kuten kohdassa 4.1 on esitetty. Hoekstra ja Mekonnen (2011) taas käyttivät vedenkulutuksen laskentaan vesijalanjälkeä.

Suuri osa vesistöstä poistetusta vedestä palautuu samaan vesistöön käytön jälkeen. Esimerkiksi teollisuuden jäähdytysvedenotosta palautuu, laitoksesta riippuen, arviolta 95 % (FAO, 2012). Tästä syystä onkin syytä ottaa laskuun mukaan myös palautuva vesi, joka vähennetään kulutukseen menevän veden määrästä. Hoekstra ja Mekonnen (2011) toteavatkin, että monet vedenniukkuusindikaattorit eivät ota huomioon palautuvaa vettä, ja indikoivat tästä syystä liian suurta veden niukkuutta.

Ihmisen aiheuttamaa vedenkulutusta voi mitata joko toteutuneella kulutuksella tai kulutuksen tarpeella (demand).. Riippuen kumpaa menetelmää käytetään, saadaan indikoitavasta alueesta selvästi eri tuloksia. Suomessa ei juuri ole veden niukkuutta, joten kaikki vesi mikä tarvitaan, myös käytetään. Toteutunut kulutus on siis lähes sama kuin kulutuksen tarve. Kuivissa maissa, joissa kastellaan paljon, olisi vedelle kuitenkin enemmän tarvetta, joten veden tarve voi olla huomattavasti suurempi kuin toteutunut veden kulutus. WEI+ indikaattorissa käytetään toteutunutta veden kulutusta, mutta tämän lisäksi erillinen veden tarve – indikaattori (Water demand Index, WDI) voidaan tarvittaessa laskea.

4.4.2 Käytettävissä olevat uusiutuvat vesivarat

Käytettävissä olevien uusiutuvien vesivarojen laskentaan vaikuttaa, suoritetaanko laskenta kuukausi- vai vuositasolla, ja onko laskenta maatasolla vai valuma-alue- tai osa-valuma-alueetasolla. Jos laskenta tapahtuu vuositasolla ja maatasolla, kuten Falkenmarkin indikaattorissa (Falkenmark, 1989), on indikaattori laskettu melko karkeasti globaalien sadanta-valunta mallien perusteella, tai maiden itse ilmoittamista luvuista. Kun

siirrytään vesistötasolle ja kuukausittaiseen laskentaan, on käytettävissä olevaa vettä mitattava tarkemmin.

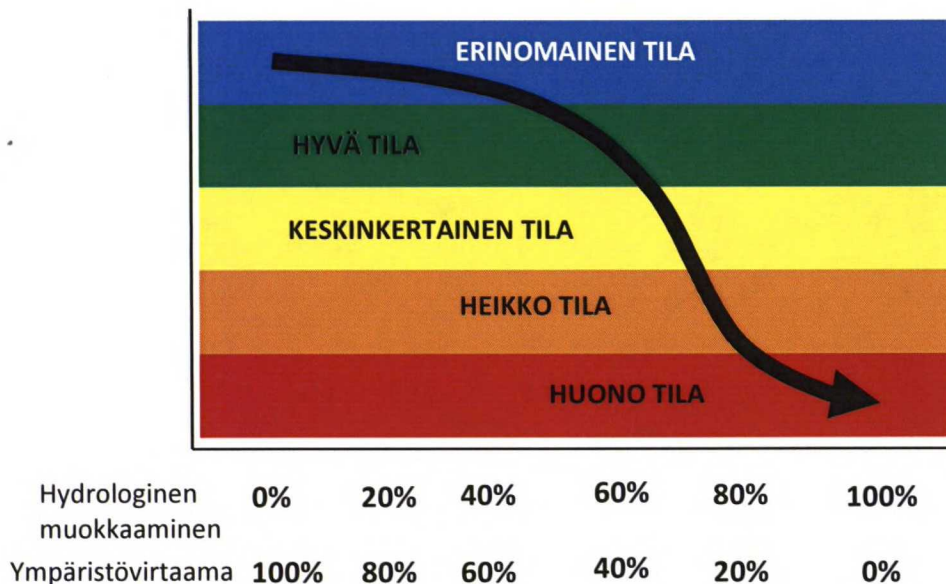
Kuukausitason vesivaroja laskettaessa on varaston muutos oleellinen parametri. Vettä varastoituu luonnollisilla tavoilla, kuten lumipeitteen muodossa, mutta myös keinotekoisesti patoamalla. Monessa maassa vettä varastoidaan monivuotisesti mahdollista kuivuuden torjuntaa varten. Varaston muutoksen laskeminen tarkasti mittaamalla on hyvin vaikeaa, koska muuttujia on paljon ja ne ovat vaikeasti mitattavissa. Tästä syystä varaston muutos on helpoin ja luultavasti tarkin laskea vesitaseen kautta.

4.4.3 Ympäristövirtaama

Ympäristövirtaama, eli luonnon ekosysteemien tarvitsema vesi (environmental flow) on varsinkin uudemmissa vedenniukkuusindikaattoreissa mukana jollakin tavalla lähes aina. Ympäristövirtaama on mukana useimmiten vähennyksenä käytettävissä olevista vesivaroista. Sen laskeminen ei kuitenkaan ole kovin yksiselitteistä, minkä vuoksi se on jätetty WEI+ indikaattorin kaavasta pois, ja lisätty kynnysarvoihin, jotka määrittävät veden niukkuuden astetta yleisesti. Tulevaisuudessa on todennäköistä, että EU:ssa lasketaan ympäristövirtaamia, kunhan jäsenmaat pääsevät sopuun yhtenevästä tavasta sen laskemiseen.

Ympäristövirtaama on monimutkainen käsite, ja sen suuruus vaihtelee vesistön ja virtaustilanteen mukaan. Monet tutkimukset ovat osoittaneet, että kausittaiset virtaaman vaihtelut ovat oleellisia vesiekosysteemien rakenteen ja elinvoimaisuuden kannalta (Poff et al. 1997; Arthington et al. 2006; Bunn & Arthington, 2002; Poff & Zimmerman, 2010). Vaihteleva veden ja virtaaman määrä joessa vaikuttaa mm. veden laatuun, lämpötilaan, ravinteiden kiertoon, happipitoisuuksiin ja eroosioon (Poff et al. 1997). Tästä syystä ympäristövirtaama ei ole siis sama asia kuin esimerkiksi minimivirtaama.

Jokien ympäristövirtaamien suuruutta on pyritty laskemaan jo pitkään (Dunbar et al. 1998). Nykyään onkin olemassa jo yli 200 eri tapaa arvioida ympäristövirtaamaa. EU:n strategia asettaa raja-arvoja, joita ihmisen kulutus ei saisi ylittää. Jos joki on koskematon, jopa 60–80 % sen vuosittaisesta virtaamasta voidaan tarvita tyydyttämään ympäristövirtaamaa. Paljon muokatut joet, joissa suuret virtaamavaihtelut eivät ole tavallisia, voi 15–20 % ympäristövirtaama olla hyväksyttävä. Hollannin kanaalit ovat hyvä esimerkki paljon muokatusta joesta. Vain 10 % luonnollisesta vuosittaisesta virtaamasta ei kuitenkaan ole missään riittävä määrä vettä takaamaan tervettä jokiekosysteemiä. Kuvassa 12 on esitetty teoreettista riippuvuutta ympäristövirtaaman ja joen ekologisen tilan välillä. (Navarro & Schmidt, 2012)



Kuva 12. Teoreettinen riippuvuus ympäristövirtaaman ja joen ekologisten tilan välillä. (Navarro & Schmidt, 2012)

Ympäristövirtaaman aikaansaaminen voi vaatia patoja, uomia ja pumppuja. Vettä voidaan joutua lisäämään kuivina aikoina, kun taas joskus pitää simuloida "luonnollinen" tulva. Ympäristövirtaaman konseptia on sovellettu jossain muodossa jo yli 70 maahan, Suomeenkin luultavasti lähivuosina. (Smakhtin et al. 2004)

Ympäristövirtaaman mukaan ottaminen muuttaa indikaattorin perimmäistä tarkoitusta hieman. Jos veden niukkuudella on tarkoitus mitata ainoastaan ihmisen aiheuttamaa vaikutusta vesistöön, ei luonnon ekosysteemien tarvitsemaa vettä tulisi ottaa huomioon. Mutta jos halutaan mitata vesistön herkkyyttä suhteessa ihmisen aiheuttamaan rasitukseen, tulisi ympäristövirtaaman ehdottomasti olla mukana. WEI+ indikaattorissa ympäristövirtaama on mukana raja-arvojen kautta. Eli jos ihmisen aiheuttama rasitus vesistölle on 20 %, jää ympäristövirtaamalle 80 %. Veden niukkuuden raja-arvoksi on asetettu aiemmassa WEI indikaattorissa 20 % ja vakavan veden niukkuuden rajaksi 40 %. Indikaattorin yksi tehtävä on olla päätöksenteon tukena, joten on tärkeää tiedostaa mitä indikaattori tarkalleen indikoi. Raja-arvot ovat tarkoitettu vuoden aika-askeleelle, joten ne eivät välttämättä ole suoraan sovellettavissa kuukauden aika-askeleelle.

4.5 Indikaattoreiden mittakaava, resoluutio ja aika-askel

Oleellinen osa indikaattoria on sen mittakaava. Eli tutkitaanko asiaa koko maapallon mittakaavassa, vai esimerkiksi osavaluma-alueen tarkkuudella. Mittakaavan valintaan vaikuttaa tietysti se mihin tarkoitukseen indikaattori tulee ja mikä on kohderyhmä. Esimerkiksi vedenniukkuusindikaattoreita on mitattu maapallon tasolla maakohtaisesti (Falkenmark, 1989) ja valuma-alueella (European Environment Agency, 2005) (Hoekstra & Mekonnen, 2011). Veden niukkuutta on perusteltua mitata valuma-alueen tai osavaluma-alueen mittakaavassa, sillä maan sisällä veden niukkuus voi vaihdella suuresti johtuen esimerkiksi teollisuuden keskittymistä ja maantieteellisistä syistä.

Toinen tekijä on indikaattorin resoluutio. Resoluutiolla tarkoitetaan tutkittavan tiedon spatiaalista tarkkuutta eli kuinka tiiviisti tietyltä alueelta on tietoa. Mitä suurempi resoluutio, sitä tarkempi tulos yleensä on. Resoluutio liittyy läheisesti mittakaavaan, mutta ei ole kuitenkaan sama asia. Resoluution kasvattaminen tuo aina lisää tietoa ja työtä, kun taas liian pieni resoluutio voi johtaa joskus paljonkin harhaan. Esimerkiksi Vörösmarty et al. (2000) osoitti, että 0,5 asteen resoluutiolla maailmassa eläisi veden niukkuudessa 1,76 miljardia ihmistä vuonna 1995. Aikaisempi maakohtainen, alemman resoluution arvio oli 0,45 miljardia.

Kolmas merkittävä tekijä on indikaattorissa käytettävä aika-askel. Esimerkiksi veden niukkuutta on aiemmin mitattu yleensä vuositasolla (Falkenmark, 1989; Falkenmark et al. 2007). Uusimmat tutkimukset kuitenkin suosivat kuukausitason laskentaa (Hoekstra & Mekonnen, 2011), johon EU:n uusi vedenniukkuusindikaattori WEI+ myös pyrkii kaksiasteisen lähestymisen kautta. Kuukausitason laskenta vaatii enemmän tietoa, ja usein sitä on saatavilla vain vuositasolla. Kuukausitason laskenta on helppo perustella, koska veden niukkuus vaihtelee vuodenaikojen mukaan todella paljon. Kuukausittainen tarkastelu paljastaa, että joillain alueilla on kausittaista veden niukkuutta, vaikkei se vuositason tarkastelussa välttämättä näkyisikään (Hoekstra & Mekonnen, 2011). Indikaattorin aika-askel voi olla kuukauden sijasta myös esimerkiksi kvartaali tai viikko.

5 Menetelmät ja aineisto

Tässä luvussa on esitelty tämän työn menetelmät ja aineisto. Ensin tarkastellaan WEI+ analyysin menetelmä ja aineisto. Seuraavaksi on käsitelty indikaattorivertailun menetelmät ja aineisto.

5.1 WEI+ analyysi

WEI+ analyysin menetelmä on, että ensin arvioidaan ihmisen aiheuttamaa räsitystä vesistöön kaavan 2 mukaisesti. Saatua arvoa verrataan kynnysarvoihin, jotka kertovat veden niukkuuden asteen. Tässä luvussa on ensin esitelty luonnollisten vesiresurssien laskenta ja laskennan kannalta oleelliset muuttujat. Tämän jälkeen on esitelty vedenoton ja palautuvan veden laskenta. Lopuksi on tarkasteltu menetelmän kynnysarvoja.

$$WEI+ = \frac{\text{Vedenotto} - \text{Palautuva vesi}}{\text{Uusiutuvat vesivarat}} \quad (2)$$

5.1.1 Uusiutuvat vesivarat

Uusiutuvat vesivarat voidaan laskea WEI+ indikaattorissa kahdella tavalla (kaavat 3 ja 4). Teoriassa molemmista kaavoista pitäisi tulla vesitaseen takia sama tulos.

$$RWR_1 = P - Eta - \Delta S_{nat} + ExtIn \quad (3)$$

$$RWR_2 = OutFlow + Abs - Ret - \Delta S_{art} \quad (4)$$

jossa $RWR_{1,2}$ (Renewable Water Resources) on uusiutuvat vesivarat, P on alueen sadanta, Eta on alueen haihdunta, $ExtIn$ (External inflow) on ulkopuolinen virtaama alueelle toisista vesistöistä, $OutFlow$ on joesta virtaavan veden määrä vesistön suulla, Ret on palautuvan veden määrä (returned water) ja Abs on vedenoton määrä (abstracted water). ΔS_{nat} on luonnollisen varaston muutos ja ΔS_{art} on keinotekoisien varaston muutos. Muuttujien yksiköt ovat miljoonina kuutioina laskettavan ajanjakson ajalta.

Sadannan ja haihdunnan päivittäiset arvot on simuloitu SYKEN hydrologisen vesistömallin avulla. Mallin kautta sadannan meteorologiset sekä haihdunnan mitatut ja simuloituvat päiväarvot on laskettu jokaiselle valuma-alueelle erikseen. Etenkin haihdunnan arvoissa voi olla jopa $\pm 10\%$ virhe, koska haihduntaa on vaikea mitata ja mittausasemia on harvassa. Haihduntaa mitataan Suomessa päivittäin 16 haihdunta-asemalla.

Varastojen muutosten (ΔS_{nat} ja ΔS_{art}) laskenta perustuu vesitaseeseen. Summaamalla vedenotto vesistöstä ulos virtaavan veden määrään ja vähentämällä palautunut vesi, saadaan arvo, jossa joki olisi ilman vedenottoa, eli täysin luonnontilaisena. Vesistöstä ulos virtaavan veden määrä saadaan SYKEN hydrologisella vesistömallilla, jota kalibroidaan havaintojen perusteella.

Kun alueen sisäisestä valunnasta (sadanta - haihdunta) vähennetään normalisoitu virtaama, saadaan kokonaisvaraston muutos ($\Delta S(nat + art)$). Eli kuinka paljon alueen vesivarastot ovat muuttuneet aikayksikössä. Pitkällä aikavälillä varaston muutoksen pitäisi olla pieni, koska luonto hakeutuu tasapainoon. Luonnollisen ja keinotekoisien varaston muutoksia on vaikea laskea tai mitata, mutta niiden yhteistulos, eli koko varaston muutos, saadaan laskettua kaavojen 3 ja 4 avulla. Varaston muutos lasketaan siis kaavan 5 mukaisesti. Lopullinen uusiutuvien vesivarojen laskenta tapahtuu tässä työssä kaavan 6 mukaisesti.

$$\Delta S(nat + art) = P - Eta + ExtIn - OutFlow - Abs + Ret \quad (5)$$

$$RWR_f = P - Eta - \Delta S + ExtIn \quad (6)$$

jossa RWR_f on lopulliset uusiutuvat vesivarat. Muuttujien yksiköt ovat miljoonina kuutiolina laskettavan ajanjakson ajalta.

Ulkopuolinen virtaama alueelle toisista vesistöistä on Suomessa harvinaista ja sitä tapahtuu oikeastaan vain Paimionjoesta Aurajokeen. Päijänne-tunnelin vesi ei varsinaisesti tule Vantaanjoen vesistöön, vaan menee suoraan talousvedeksi ja sieltä mereen. Maailmalla ulkopuolinen virtaama toisista vesistöistä on oleellinen tekijä, etenkin valtioiden rajat ylittävissä vesistöissä.

5.1.2 Vedenotto

Kun uusiutuvat vesivarat ovat tiedossa, lasketaan vedenoton määrä sekä palautuvan veden määrä. Laskenta perustuu joka maassa omiin laskelmiin ja arvioihin. Joissakin maissa esimerkiksi kastelua mitataan tarkasti, toisin kuin Suomessa. Tässä työssä vedenotto ja palautuneen veden määrät perustuvat pitkälti kirjallisuudesta saatuihin ar-

vioihin ja valtakunnallisiin ominaiskulutusarvoihin. Arvioiden aika-askel on useimmiten vuosi, josta kuukausilaskentaa varten vuosiarvo on vain jaettu tasan kuukausille. Poikkeuksena on kastelu, joka on jaettu kolmelle kesäkuukaudelle.

Vedenoton määrät koostuvat viidestä tekijästä:

1. Suora vedenotto toiseen vesistöön. Esimerkiksi Paimionjoesta Aurajokeen.
2. Talousvesi. Eli vesilaitosten ottama ja eteenpäin pumppaama vesi.
3. Maatalouden kasteluun käyttämä vesi.
4. Teollisuuden käyttämä vesi, jonka voi vielä jakaa jäähdytysvesiin ja prosessiveisiin.
5. Karjatalouden kuluttama vesi.

1. Suorasta vedenotosta toiseen vesistöön on Suomessa tarkat tilastot. Vedenottoa toiseen vesistöön ei tehdä Suomessa suurissa vesistöissä kuin Paimionjoella ja Kymijoen (Päijännetunneli). Vuoden 2011 lopusta on myös ruvettu pumppaamaan vettä Kokemäenjoesta Turkuun Virttaankankaan tekopohjavesihankeen takia. Tästä on tapaustutkimus kohdassa 6.5.
2. Talousveden vedenotto perustuu ominaiskulutukseen, joka on kerrottu valuma-alueen väestömäärällä. Väestömäärät ovat vuoden 2009 rakennus- ja huoneistorekisteristä. Ominaiskulutus puolestaan perustuu vesilaitoksen vuorokaudessa verkostoon pumppaamasta vedestä, joka on jaettu verkostoon liittyneellä asutuksen määrällä. Tilastot ovat yhdyskuntien vesi- ja viemärilaitosrekisteristä. Aivan tuoretta laskelmaa valtakunnallisesta ominaiskulutuksesta ei ole saatavilla, mutta ominaiskulutus on vuosituhannen vaihteessa vakiintunut noin 250 litraa/henkilö/päivä -tasolle, jota käytettiin arvona myös tämän työn laskuissa.
3. Maatalouden kasteluun käyttämä vesi perustuu kasteltaviin peltohehtaareihin ja arvioihin kastelun määrästä. Valuma-alueen peltohehtaarit on saatu SYKEN yhdistetystä hydrologia- ja kuormitusmallista (WSFS-Vemala). WSFS-Vemala saa peltolohkotietonsa Tiken (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus) peltolohkokisteristä. Kastelua vaativan alan arvio laskentaan on saatu jakamalla vesistön koko peltoala maakunnan keskimääräisellä arviolla kastelun piirissä olevasta pellon alasta. Kasteltavissa olevat peltoala-arviot ovat Tiken Maatalouslaskennasta 2010 (Tike, 2010). Kastelun määrää kastelun piirissä olevaa peltohehtaaria kohden arvioitiin Pajulan ja Triipposen (2003) selvityksen perusteella. Varsinais-Suomen kastelun määränä puolestaan käytettiin heidän vesistökohtaisia arvioitaan, koska ne ovat todennäköisesti tarkempia. Muilla alueilla käytettiin selvityksestä laskettavaa keskiarvoa $578\text{m}^3/\text{kastelun piirissä oleva peltohehtaari/vuosi}$.

Kastelun määrä vaihtelee luonnollisesti joka vuosi kasteluntarpeen mukaan. Toisin sanoen kuivina vuosina kastelua on tarvinnut keskimääräistä enemmän. Tässä työssä kastelun vaihtelua vuositason korjattiin vertaamalla sadantaa ja haihduntaa vuosien 2000–2011 keskiarvoon kaavan 8 mukaisesti. Kuukausitasolla samanlaista korjausta ei ole kuitenkaan tehty.

$$kastelu_i = \left(\frac{P_{ka}}{P_i} \right) \left(\frac{Eta_{ka}}{Eta_i} \right) kastelu_a \quad (7)$$

jossa $kastelu_i$ tarkoittaa laskettavan vuoden kasteluun käytettävän veden määrää, P_{ka} sadannan keskiarvoa vesistössä vuosina 2000–2011, P_i sadantaa laskettavana vuonna, haihdunta eli Eta vastaavasti kuin sadanta. $Kastelu_a$ on kirjallisuuden pohjalta saatu tai laskettu arvio keskimääräisestä kastelun vuosittaisesta tarpeesta. Muuttujien yksiköt ovat miljoonia kuutioita.

4. Teollisuuden käyttämä vesi on jaettavissa kahteen osaan: jäähdytysveteen ja prosessiveteen. Jäähdytysvesi palautuu lähes kokonaan vesistöön. Suurin osa Suomen jäähdytysvedenotosta tapahtuu merivedestä. Merivesi taas ei vaikuta vesistökohtaisiin laskuihin ollenkaan. Prosessivesiä teollisuus käyttää monissa eri prosesseissa. Joskus kaikki vesi kulutetaan, joskus ei yhtään. Vesi saattaa kontaminoitua ja se johdetaan muualle puhdistukseen. Prosessivesiä ei ole suhteessa jäähdytysvesiin kovin paljoa edes jokivesistöissä (koevesistöissä alle 1 %). Tämän vuoksi tässä työssä lähdettiin oletuksesta, ettei prosessivesistä palaudu vesistöön yhtään vettä. Prosessi- ja jäähdytysvesien määrät on saatu Valvonta ja kuormitustietojärjestelmästä (VAHTI), joka on osa Ympäristönsuojelun tietojärjestelmää (Ympäristönsuojelulaki, YSL 27§).
5. Karjatalouden, eli esimerkiksi lehmien, sikojen ja siipikarjan, käyttämä vesimäärä on laskettavissa karkeasti paikkatietoaineistojen perusteella. Karjatalouden kuluttama vesimäärä on hyvin pieni suhteessa muihin vedenkäyttömuotoihin. Määrät perustuvat VAHTI-tietokantaan.

5.1.3 Palautuva vesi

Palautuva vesi on vettä, joka palautuu takaisin vesistöön vedenoton jälkeen. Talousvesi palautuu vasta viikon tai kahden jälkeen vedenotosta, kun taas jäähdytysvesi palautuu saman tunnin aikana. Mutta jos aika-askel on vuosi, niin palautumisen nopeudella ei ole merkitystä. Palautuvan veden määrän arviointi on hankalaa, eikä sitä mitata. Tämän työn laskuissa palautuva vesi koostuu ainoastaan palautuvasta jäähdytysvedestä ja palautuvasta talousvedestä. Kastelu- ja prosessiveden oletetaan kuluvan käytössä kokonaan.

Jäähdytysvedestä oletetaan palautuvan 95 % (FAO, 2012) ja 5 % häviää haihdunnan ja vuotojen kautta. Asiasta ei kuitenkaan ole mitään kattavaa tutkimusta, joka soveltuisi Suomen joki- ja järvivesien jäähdytysvesiin. Talousvedestä puolestaan oletetaan palautuvan 90 % (FAO, 2012). Monesti puhdistetut jätevedet johdetaan suoraan mereen, kuten esimerkiksi pääkaupunkiseudulla. Tämä on otettu vesistökohtaisesti huomioon palautuvan veden määrässä, jos rannikolla on isoja kaupunkeja.

5.1.4 WEI+ kynnysarvot

Kun WEI+ arvo on saatu laskettua kaavan 4 mukaisesti, verrataan sitä raja-arvoihin. Lopullisia WEI+ raja-arvoja ei ole vielä päätetty, joten toistaiseksi käytetään vanhoja WEI:n raja-arvoja, jotka ovat 20 % ja 40 %. 20 % ylittävät alueet kärsivät veden niukkuudesta tai vesistressistä ja 40 % ylittävät alueet kärsivät vakavasta veden niukkuudesta. Lopulliset arvot tulevat olemaan todennäköisesti samaa luokkaa kuin nämä.

WEI+ indikaattori on kaksiporainen. Alueille tehdään ensin suuntaa-antava vuositason tarkastelu, jollainen on tehty tässä työssä 37 vesistölle. Tämän jälkeen siirrytään kuukausittaiseen tarkasteluun, jos sille nähdään tarvetta vuositason tarkastelussa esiin tulevan WEI+ arvon perusteella. Kynnysarvoa, jonka ylittyessä tarkempi kuukausipohjainen tarkastelu tehdään, ei ole vielä päätetty. Jos vesistön tiedetään olevan vesiniukka jo entuudestaan, voidaan tietysti siirtyä suoraan kuukausipohjaiseen tarkasteluun.

Jos raja-arvot ylittyvät, voidaan todeta alueen kärsivän veden niukkuudesta. Pelkän WEI+ arvon pohjalta ei kuitenkaan voida todeta paljoa vesiekosysteemien tilasta. Ympäristövirtaamat vaihtelevat paljon, joten jos WEI+ luvut ovat suuria, on järkevää tehdä tarkempia mittauksia ja tutkimuksia.

5.2 Kuukauden aika-askeleen vaikutus tuloksiin

Veden niukkuutta on ennen laskettu yleensä vuoden aika-askeleella. Mutta kuten Hoekstra & Mekonnen (2011) totesi, saatetaan tällöin ohittaa vakavia kausittaisia veden niukkuuksia. Suomessa veden niukkuus on yleensä pahinta aina kesällä. Tällöin haihdunta on suurta ja vesistöjä käytetään kasteluun. Suuri osa saatavilla olevasta aineistosta on kuitenkin vuosittaista, kuten esimerkiksi teollisuuden vedenotto.

Kuukausittaiset laskelmat on suoritettu kahdelletoista vesistölle, joista tarkimmin Paimionjoelle ja Kokemäenjoelle. Sadanta ja haihdunta-aineisto on päivittäistä, joten se on helppoa ja luotettavaa myös kuukausitasolla. Kotitalouksien ominaisvedenkulutusta on pidetty laskennassa vakiona ympärivuoden, kuten myös teollisuuden jäähdytys- ja prosessivesiä. Paimionjoelle ja Kokemäenjoelle on myös arvioitu karjatalouden käyttämä vesi eläinten lukumäärien ja ominasvedenkulutuksen perusteella. Muille kuukausilaskennan vesistöille tämä on arvioitu koevesistöjen pohjalta suhteuttaen peltopinta-alaan. Tämä arvio on jaettu tasaisesti kuukausille.

Maatalouden kastelua on arvioitu Suomessa vain vuositasolla. Laskuissa Pajulan ja Triipposen (2003) arviot kasteluveden määrästä kasvukauden aikana on jaettu tasan kolmelle kasvukuukaudelle touko-heinäkuulle, jolloin kastelua eniten tarvitaan. Tämä on kuitenkin yleistys. Pajulan ja Triipposen mukaan kastelua tarvitaan eniten yleensä kesäkuussa. Tilanne kuitenkin vaihtelee alueittain ja vuosittain. Todellisuudessa kuivina kesinä kastellaan huomattavasti keskiarvoa enemmän, joten veden niukkuus on kuivina kesinä vielä voimakkaampaa.

Kuukauden aika-askeleella laskettaessa varaston muutos on oleellinen tekijä. Ilman varaston muutosta, WEI+ indikaattori näyttäisi kesällä usein negatiivista lukua, koska haihdunta on tällöin suurempaa kuin sadanta aiheuttaen negatiivisen nimittäjän. Vettä kuitenkin virtaa joesta mereen ja sitä kulutetaan, joten veden niukkuus ei voi olla negatiivista. Asia selittyy varaston muutoksella, joka pienenee kun haihdunta on suurta ja sadanta pientä.

Kuukauden aika-askel antaa selvästi tarkemman kuvan kastelun vaikutuksista veden niukkuuteen, koska kastelua tapahtuu vain kesällä. Vuosittaisessa tarkastelussa kastelun vaikutus jakaantuu koko vuoden hydrologisiin arvoihin ja sen merkitys pienenee huomattavasti.

Eri maiden WEI+ laskujen parametrit on toistaiseksi saatu jäsenmaiden eri lähteiden kautta raportoiduista tiedoista. Jotkin jäsenmaat ovat lisäksi laskeneet tarkempia esimerkkejä pilottivesistöissä. WEI+ analyysin menetelmät on kuvattu tarkemmin liittees-

sä 2, joka on EU:n veden niukkuus ja kuivuus -työryhmän laatima yksityiskohtainen dokumentti.

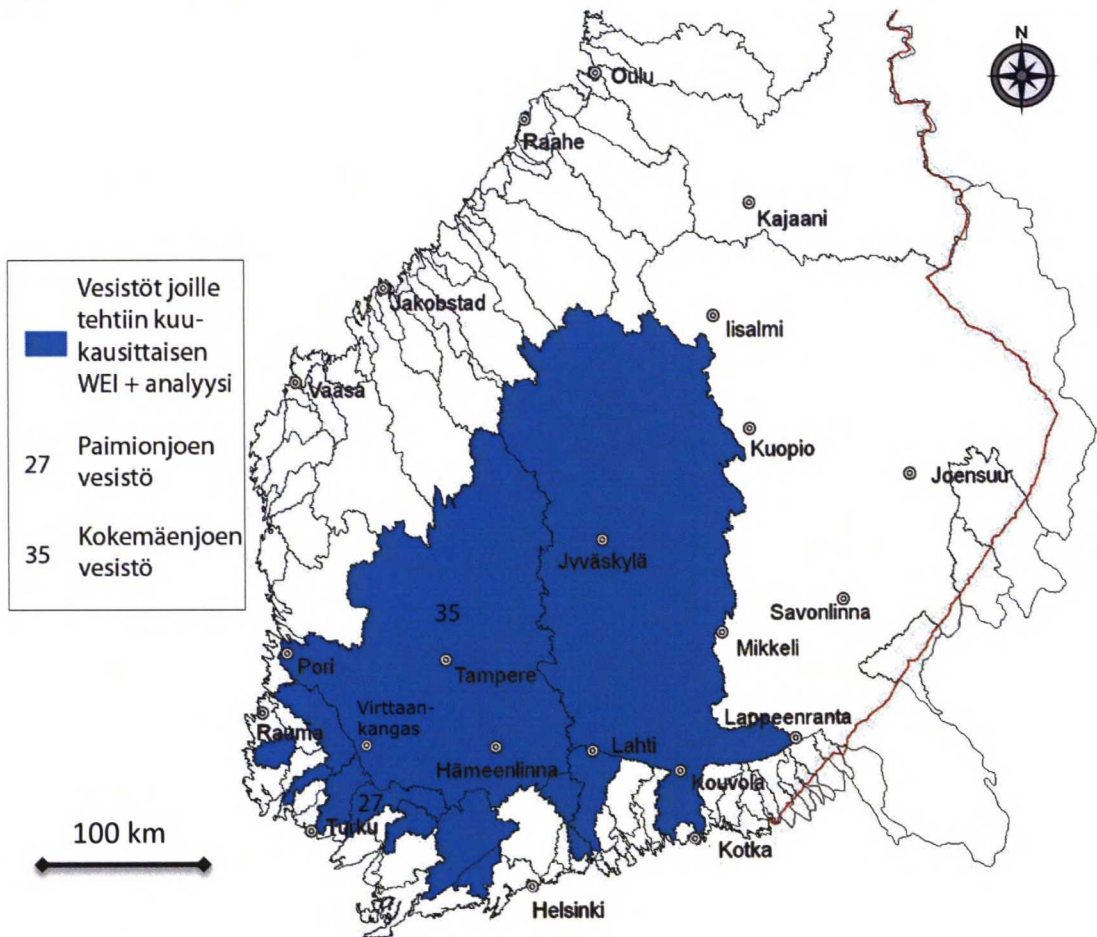
5.3 Koevesistöt

WEI+ indikaattoria sovellettiin tässä työssä 36 Suomen vesistöalueeseen ja yhteen rannikkovesialueeseen. Vesistöt valittiin valuma-alueen koon, sijainnin ja maatalousvaltaisuuden perusteella. Vesistöt kattavat 68 % Suomen pinta-alasta ja 73 % Suomen uusiutuvista vesivaroista. Vesistöjen alueella asuu noin 65 % suomalaisista. Vesistöjen nimet ja tunnukset, niiden pinta-alat, merialue, johon joet laskevat sekä järvisyysprosentit on esitetty taulukossa 3. Vesistöt, joille tehtiin myös kuukausittainen WEI+ analyysi, ovat alleviivattuina taulukossa sekä esitetty kuvassa 13. Vuosittaisesta WEI+ laskennasta jätettiin pois Suomen pienemmästä päästä olevat vesistöt sekä suuret raja-vesistöt. Lopuista vesistöistä valittiin sattumanvaraisesti vesistöjä, kuitenkin hieman Varsinais-Suomen maatalousvaltaisia vesistöjä painottaen. Kuukausittainen WEI+ analyysi tehtiin kaikille vesistöille joiden vuosittainen WEI+ oli yli yhden prosentin. Kokemäenjoelle ja Paimionjoelle kuukausittainen analyysi tehtiin jo testivaiheessa.

Taulukko 3. WEI+ tarkasteluun otetut Suomen vesistöalueet, niiden vesistötunnukset, laskumerialue, valuma-alue Suomen puolella ja järvisyysprosentti. Vesistöt joille tehtiin lisäksi kuukausittainen WEI+ analyysi ovat alle- viivattuina.

Tunnus	Vesistöalueen nimi	Merialue	Valuma-alue km ²	Järvisyys %
1	Jänisjoen vesistöalue	Laatokka	1988,41	10,60 %
3	Hiitolanjoen vesistöalue	Laatokka	1029,28	12,46 %
4	Vuoksen vesistöalue	Laatokka	52696,63	19,78 %
14	<u>Kymijoen vesistöalue</u>	<u>Suomenlahti</u>	<u>37158,74</u>	<u>18,34 %</u>
18	<u>Porvoonjoen vesistöalue</u>	<u>Suomenlahti</u>	<u>1237,09</u>	<u>1,34 %</u>
19	<u>Mustijoen vesistöalue</u>	<u>Suomenlahti</u>	<u>783,21</u>	<u>1,49 %</u>
21	Vantaanjoen vesistöalue	Suomenlahti	1685,92	2,25 %
22	Siuntionjoen vesistöalue	Suomenlahti	487,07	5,23 %
23	<u>Karjaanjoen vesistöalue</u>	<u>Suomenlahti</u>	<u>2045,81</u>	<u>12,18 %</u>
24	Kiskonjoen–Perniönjoen vesistöalue	Saaristomeri	1046,91	5,67 %
25	<u>Uskelmanjoen vesistöalue</u>	<u>Saaristomeri</u>	<u>566,45</u>	<u>0,60 %</u>
26	Halikonjoen vesistöalue	Saaristomeri	306,57	0,05 %
27	<u>Paimionjoen vesistöalue</u>	<u>Saaristomeri</u>	<u>1088</u>	<u>1,58 %</u>
28	<u>Aurajoen vesistöalue</u>	<u>Saaristomeri</u>	<u>874</u>	<u>0,30 %</u>
30	<u>Mynäjoen vesistöalue</u>	<u>Saaristomeri</u>	<u>288,43</u>	<u>0,33 %</u>
32	<u>Sirppujoen vesistöalue</u>	<u>Selkämeri</u>	<u>437,76</u>	<u>1,85 %</u>
34	<u>Eurajoen vesistöalue</u>	<u>Selkämeri</u>	<u>1335,9</u>	<u>12,90 %</u>
35	<u>Kokemäenjoen vesistöalue</u>	<u>Selkämeri</u>	<u>27046,12</u>	<u>10,99 %</u>
36	Karvianjoen vesistöalue	Selkämeri	3438,01	4,55 %
37	Lapväärtinjoen (Isojoen) vesistöalue	Selkämeri	1098,05	0,20 %
41	Laihianjoen vesistöalue	Selkämeri	506,49	0,33 %
42	Kyrönjoen vesistöalue	Perämeri	4922,97	6,81 %
44	Lapuanjoen vesistöalue	Perämeri	4122,05	2,92 %
47	Ähtävänjoen vesistöalue	Perämeri	2053,73	9,77 %
49	Perhonjoen vesistöalue	Perämeri	2523,84	3,35 %
51	Lestijoen vesistöalue	Perämeri	1372,8	6,22 %
53	Kalajoen vesistöalue	Perämeri	4246,97	1,82 %
54	Pyhäjoen vesistöalue	Perämeri	3711,89	5,16 %
57	Siikajoen vesistöalue	Perämeri	4318,01	2,18 %
58	Temmesjoen vesistöalue	Perämeri	1180,71	0,50 %
59	Oulujoen vesistöalue	Perämeri	22509,41	11,47 %
60	Kiiminkijoen vesistöalue	Perämeri	3813,55	2,97 %
61	Iijoen vesistöalue	Perämeri	14190,68	5,67 %
63	Kuivajoen vesistöalue	Perämeri	1356,24	2,72 %
64	Simojoen vesistöalue	Perämeri	3159,75	5,66 %
65	Kemijoen vesistöalue	Perämeri	49467,34	4,30 %
81.055	Espoonjoen vesistöalue	Suomenlahti	132,34	6,26 %
	Yhteensä		260227,13	km²
	Suomen pinta-alasta		67,59 %	
	Koko Suomen pinta-ala		385000	km²

WEI+ indikaattoria kehitettäessä käytettiin testaamiseen Suomen osalta kahta testivesistöä, Paimionjoen vesistöä ja Kokemäenjoen vesistöä. Näiden vesistöjen osalta tuloksia voi pitää tarkimpina, koska niistä on kerätty eniten tietoa. Tietoja on myös laajemmalla ajanjaksolla, osittain jopa vuodesta 1962 vuoteen 2011. Ennen kuin lopulliseen indikaattorin versioon päädyttiin, testattiin näitä koevesistöjä yhdellätoista eri indikaattoriversiolla. Näissä versioissa oli joidenkin kaavassa mukana ympäristövirtaama. Tästä muuttujasta kuitenkin luovuttiin, sen monimutkaisuuden ja ristiriitaisuuden takia.

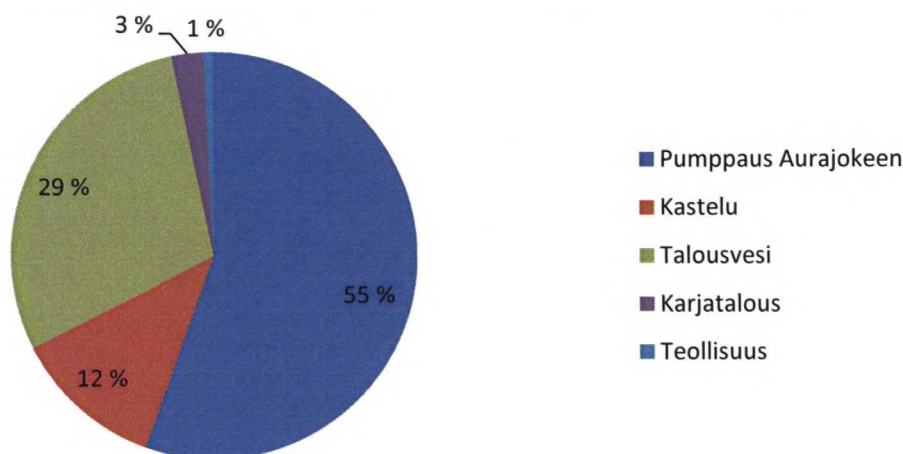


Kuva 13. Vesistöt, joille tehtiin kuukausittainen WEI+ analyysi.

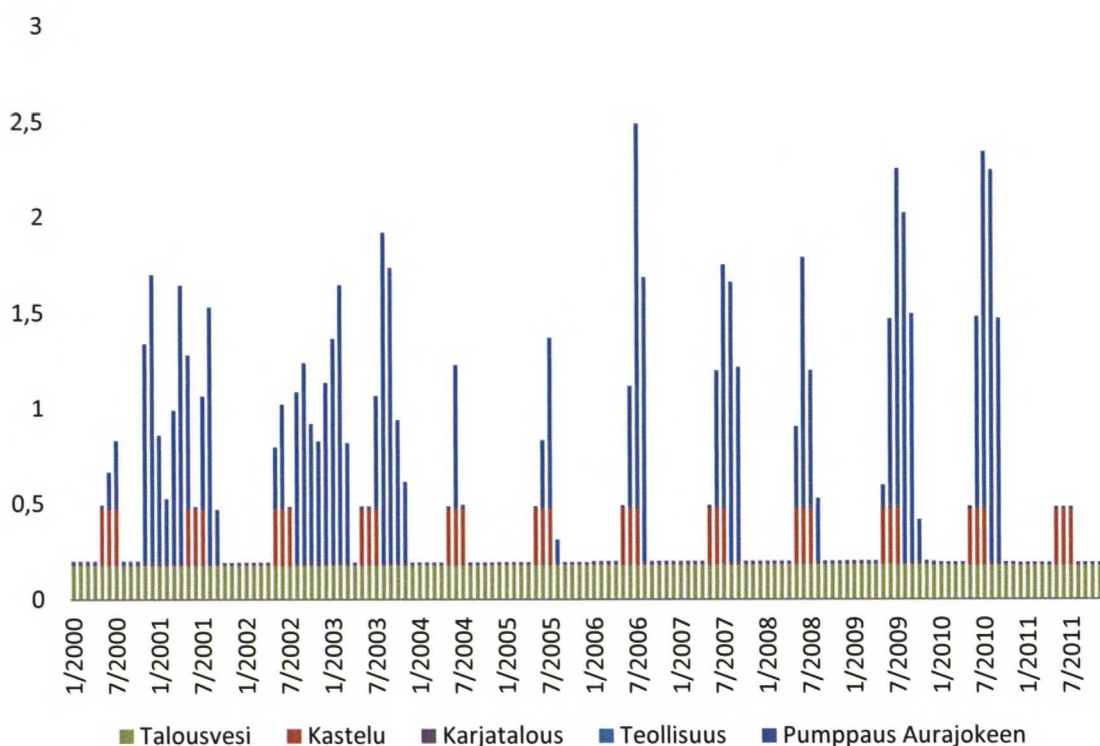
5.3.1 Paimionjoki

Paimionjoen vesistö sijaitsee Varsinais-Suomessa ja se on valuma-alueeltaan suurin Saaristomereen laskeva joki. Joki on 110 km pitkä, ja valuma-alue on 1088 km². Vesistön järvisyys on pieni, vain 1,5 % (Elo, 2004). Vesistö on valittu testattavaksi, koska sen alueella on paljon maataloutta (36 %) ja alueesta on teetetty muitakin tutkimuksia. Joesta on pumpattu vettä Aurajokeen Turun vesihuollon tarpeisiin kuivina kausina. Tämä tulee kuitenkin loppumaan tai ainakin vähentymään, koska Turun Vesi Oy on saanut Virttaankankaan tekopohjavesilaitoksensa toimintaan vuoden 2011 aikana. Asukkaita valuma-alueella elää Tilastokeskuksen (2011a) mukaan 24 300.

Paimionjoen keskimääräinen vedenotto vuosina 2000–2011 oli 7,24 Mm³. Suurin vuotuinen vedenotto oli vuonna 2003, jolloin se oli 11,45 Mm³. Kuvassa 14 on eroteltu vedenoton keskiarvot Paimionjoesta sektoreittain vuosilta 2000–2011. Kuten kuvasta voi havaita, on pumppaus Aurajokeen selvästi suurin vedenoton aiheuttaja, eikä Paimionjoessa juuri ole teollisuutta. Kuvassa 15 on esitetty vedenkulutus kuukausittain ja sektoreittain. Kuvassa havainnollistetaan kuinka kastelu sijoittuu nimenomaan kesiin, kuten myös pumppaus Aurajokeen. Kesällä vesistön kuormitus onkin selvästi suurinta.



Kuva 14. Vedenoton keskiarvo Paimionjoella vuosilta 2000–2011 (%)



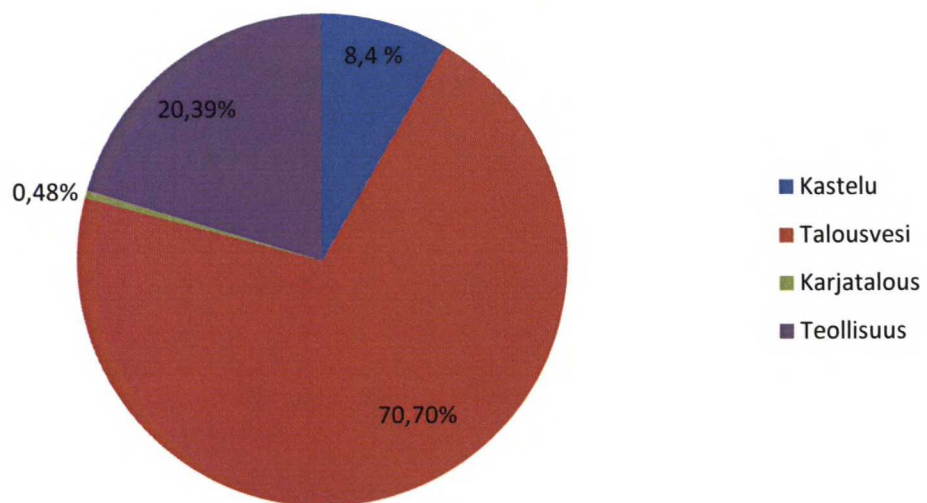
Kuva 15. Kuukausien vedenoton jakaantuminen Paimionjoella vuosina 2000–2011 (Mm³)

5.3.2 Kokemäenjoki

Kokemäenjoen vesistö on Suomen neljänneksi suurin vesistö ulottuen Keski-Suomesta Selkämerelle kattaen 27 046 km² valuma-alueen. Itse Kokemäenjoki alkaa vasta Vammalan Liekovedeltä. Ympäristöhallinnon (2012) mukaan vesistön järvisyys on 11 % sisältäen suuria järviä kuten Vanajavesi, Näsijärvi ja Tarjannevesi. Peltopinta-alaa on noin 20 %. Asukkaita valuma-alueella on noin 775 800 (Tilastokeskus 2011a). Vesistö valittiin testattavaksi, koska se edustaa runsasjärvistä suurta vesistöä, ollen ominaisuuksiltaan hyvin erilainen kuin Paimionjoki.

Vuonna 2011 valmistui Virttaankankaan tekopohjavesihanke, jossa tehdään tekopohjavettä Turun seudun vesihuollon tarpeisiin. Hankkeen raakavesi pumpataan Kokemäenjoesta Huittisten kohdalta. Vedenotto tulee siis Kokemäenjoesta lisääntymään tämän osalta tulevaisuudessa. Virttaankankaan tekopohjavesihankkeen vaikutuksia vesistöihin veden niukkuuden näkökulmasta on tarkasteltu tapaustutkimuksessa luvussa 6.5.

Kokemäenjoen keskimääräinen vedenotto vuosina 2000–2011 oli 94,05 Mm³. Suurin vuotuinen vedenotto oli vuonna 2010, jolloin vedenotto oli 122,42 Mm³. Kuvassa 16 on eroteltu vedenoton keskiarvot Kokemäenjoesta sektoreittain vuosilta 2000–2011. Kokemäenjoen vesistössä on melko paljon vettä käyttävää teollisuutta, mutta tämä vesi on enimmäkseen jäähdytysvettä. Suurin vedenotto on talousveden muodossa, koska valuma-alueella asuu lähes 800 000 ihmistä. Maataloutta on suhteessa selvästi vähemmän kuin Paimionjoella.



Kuva 16. Vedenoton keskiarvo Kokemäenjoella sektoreittain vuosilta 2000–2011 (%)

5.4 Indikaattorivertailu

Indikaattorivertailussa menetelmänä on vertaileva poikittaistutkimus, jossa verrataan WEI+ indikaattoria Falkenmarkin (1989) indikaattoriin, EU:n aikaisempaan vedenniukuusindikaattoriin (WEI) (European Environment Agency, 2005) sekä vesijalanjälkeen perustuvaan indikaattoriin (Hoekstra & Mekonnen, 2011). Tämän lisäksi WEI+ indikaattorin luotettavuutta testataan Bockstellerin ja Gigardin (2003) kehittämien menetelmin, joissa indikaattoria arvioidaan kuudella eri indikaattorin hyvyttä ja informatiivisuutta mittaavalla kriteerillä.

Falkenmarkin indikaattorin ja WEI indikaattorin laskut perustuvat samaan aineistoon kuin WEI+ indikaattorin, mutta osin myös EU:n vanhoihin tilastoihin sekä kirjallisuudesta löytyviin valtakunnallisiin arvoihin. Vesijalanjälkeen perustuvan indikaattorin tulokset ovat Mekonnenin ja Hoekstran (2011) itse laskemista tilastoista.

Falkenmarkin vedenniukkuusindikaattori

Falkenmarkin indikaattori mittaa veden niukkuutta vertaamalla uusiutuvia vesivaroja väestömäärään. Falkenmark (1989) määritteli maat luokkiin tai tiloihin saatavilla olevan veden perusteella. Luokkia on neljä: ei vesistressiä ($>1700 \text{ m}^3/\text{asukas/a}$), vesistressi ($1000\text{--}1700 \text{ m}^3/\text{asukas/a}$), veden niukkuutta ($500\text{--}1000 \text{ m}^3/\text{asukas/a}$), täydellinen veden niukkuus ($< 500 \text{ m}^3/\text{asukas/a}$). Indikaattori lasketaan yleensä koko maalle, mutta sen voi laskea myös vesistökohtaisesti (EEA, 2010).

Tässä työssä Falkenmarkin indikaattori on laskettu vuositason kaikkien WEI+ tarkastelussa olleille vesistöille. Vertailun vuoksi indikaattori on muutettu prosenttimuotoon, koska vain kahdessa vesistössä raja-arvo $1700 \text{ m}^3/\text{asukas/a}$ ylittyi. Muissa prosenttiarvo on saatu suhteuttamalla vesistön alueen väestömäärä kertomalla se 1700 m^3 :lla ja jakamalla lukema vesistön vuosittaisilla uusiutuvien vesivarojen määrällä.

WEI indikaattori

WEI indikaattori, eli EU:n aikaisempi vedenniukkuusindikaattori lasketaan vuositason maakohtaisesti. Indikaattori eroaa WEI+ indikaattorista myös siinä, ettei siihen lasketa palautuvia vesiä mukaan (kaava 7). Indikaattori on laskettu samoista arvoista kuin WEI+ indikaattori.

$$WEI = \frac{\text{Vedenotto}}{\text{Luonnolliset vesivarat}} \quad (7)$$

Vesijalanjälkeen perustuva vedenniukkuusindikaattori

Vesijalanjälkeen perustuvan metodin tilastot perustuvat Mekonnenin ja Hoekstran (2011) laskemiin kansallisiin vesijalanjälkitietokantoihin, joissa arvioitiin globaalia siviilisen veden jalanjälkeä 5x5 minuutin hilalla. Alueiden väestötiedot ovat peräisin CIESIN:ltä (Center for International Earth Science Information Network) ja CIAT:lta (International Center for Tropical Agriculture, 2005). Teollisuuden ja väestön vedenoton määrät he ovat arvioineet FAO:n (2010) tilastoista. Tämän työn laskennassa käytetyt arvot ovat peräisin Hokestran ja Mekonnenin raportista (2011).

6 WEI+ analyysin tulokset

Tässä luvussa on esitetty WEI+ analyysin tuloksia. Ensimmäisessä tarkastelussa on koko otannan vuosittaiset tulokset, joiden jälkeen tarkemmassa tarkastelussa on kuukausittaiset WEI+ tulokset. Näiden jälkeen on vielä tarkasteltu Virttaankankaan tekopohjavesihanketta veden niukkuuden näkökannalta. Tässä luvussa tuloksia analysoidaan hieman, mutta laajempi tarkastelu on esitetty luvussa 7.

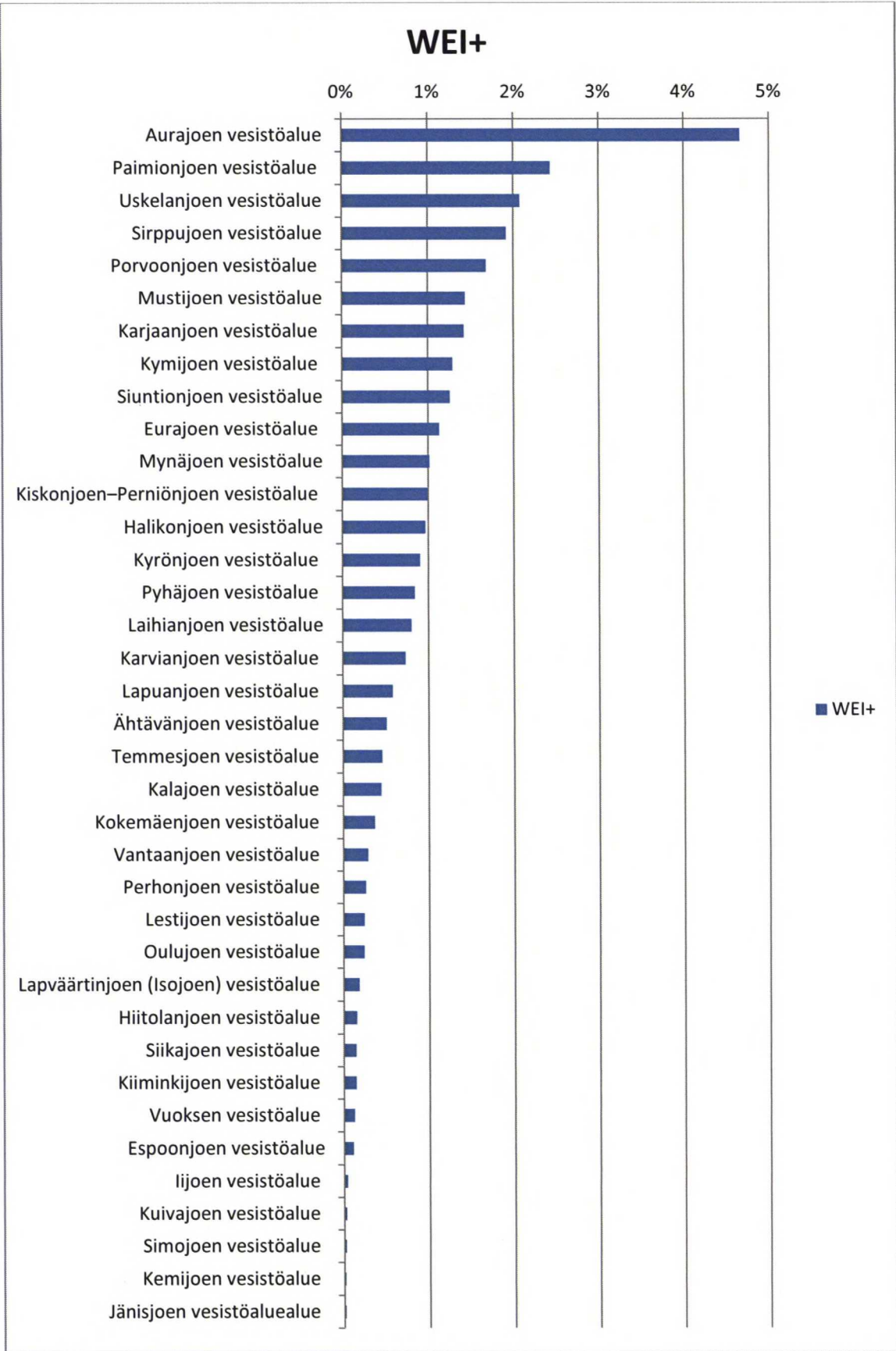
6.1 Vuosittaiset analyysin tulokset

Oletetaan, että otannan 36 vesistöä ja yksi rantavesistö kattavat tarpeeksi laajan osan Suomea (67,6 % Suomen pinta-alasta) tulosten yleistämiseksi koko Suomen tasolle. Kuva 17 osoittaa millä tasolla Suomen veden niukkuus keskimäärin on WEI+ indikaattorilla mitattuna. Vuodet 2002–2003 olivat kuivia, mikä näkyy myös vedenniukkuustilanteessa piikkinä. Myös keskimääräistä kuivempi vuosi 2009 erottuu kuvasta. Veden niukkuutta ei kuitenkaan tulisi tulkita vuosittain. Kuvasta erottuvat piikit kuvaavat kuivia vuosia, eivät veden suhteen niukkoja vuosia. Keskimäärin veden niukkuus Suomessa vuosina 2000–2011 on ollut 1 % luokkaa, eli kulutamme indikaattorin mukaan vuosittain vain 0,8 % uusiutuvista vesivaroistamme. Keskimäärin Suomessa ei siis ole veden niukkuutta.



Kuva 17. Vuosittainen keskiarvo otannan vesistöjen WEI+ arvoista vuosilta 2000–2011.

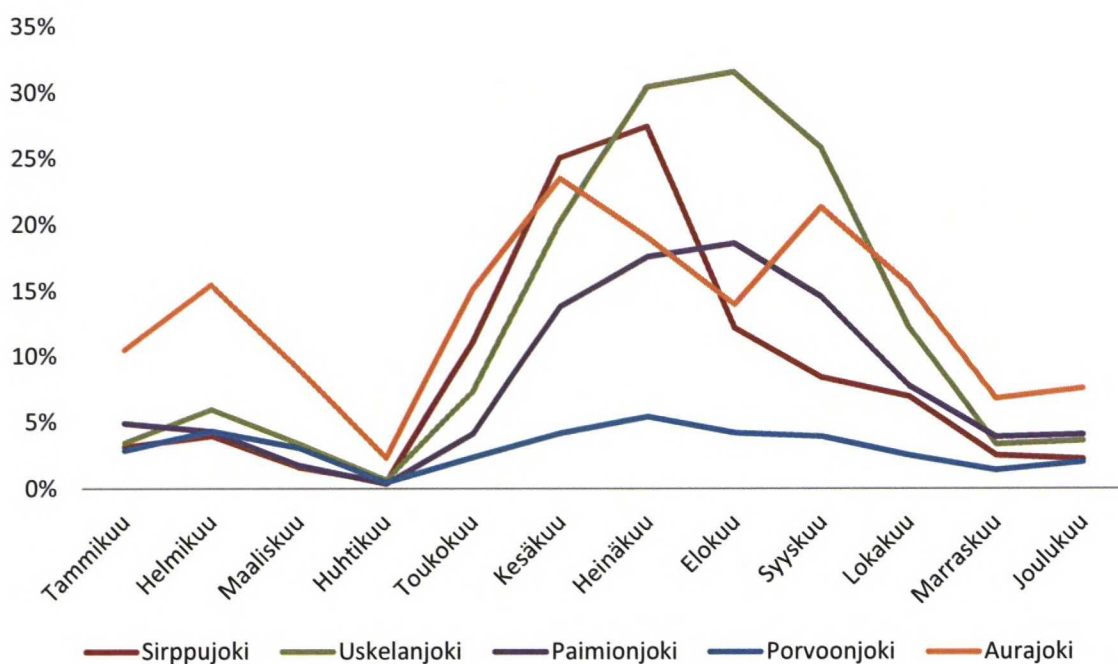
Kuvassa 18 on esitetty vesistökohtaiset WEI+ lukujen keskiarvot vuosilta 2000–2011. Suurin WEI+ arvo (4,7 %) on Aurajoen vesistöalueella. Toiseksi suurin WEI+ arvo (2,4 %) on Paimionjoella. Kuvassa 19 on esitetty tarkastelussa olleet vesistöalueet kartalla. Kartasta ja tuloksista voidaan huomata, että suurimmat veden niukkuudet ovat Etelä- ja Kaakkois-Suomen pienissä vähäjärvisissä vesistöissä, joiden alueella on paljon asutusta ja peltoja. Kaikkien vesistöjen tarkemmat lähtöarvot sekä vuosittaiset WEI+ arvot on esitetty liitteessä 3.



Kuva 18. Keskiarvo vuosien 2000–2011 vuosittaisista WEI+ arvoista

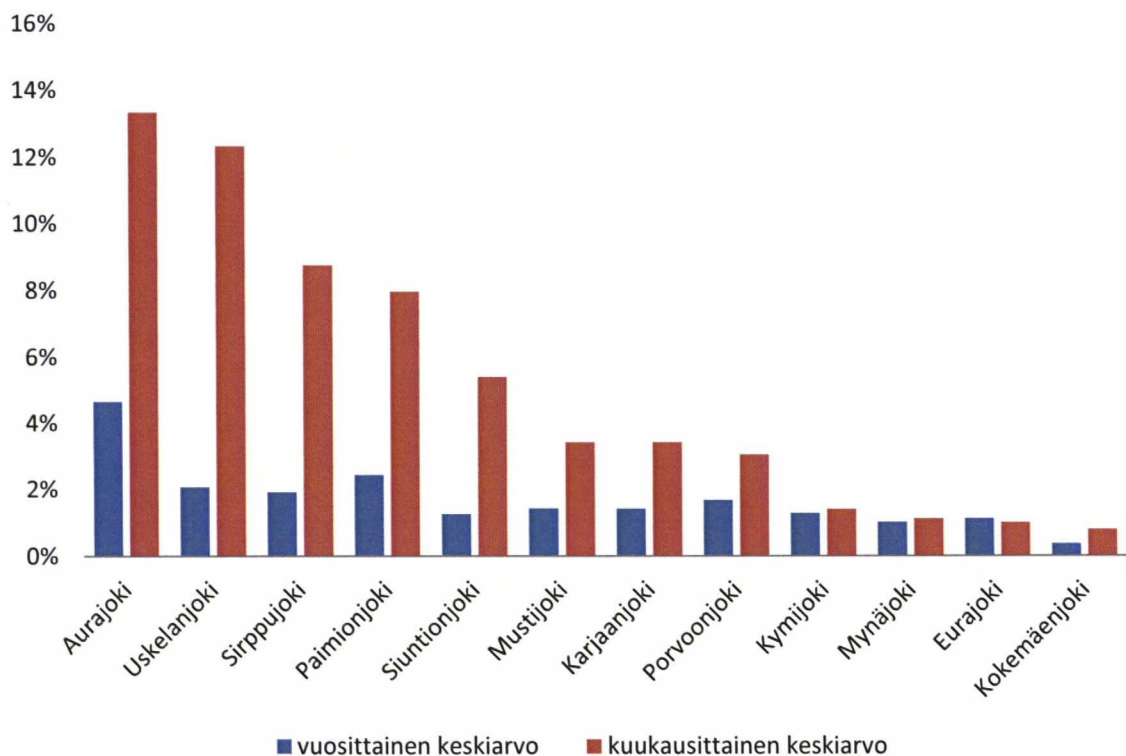
6.2 Kuukausittaisen analyysin tulokset

Kuukausittainen WEI+ analyysi toteutettiin ensin testivesistöille, Paimionjoelle ja Kokemäenjoelle. Vuosittaisen WEI+ analyysin jälkeen kuukausittainen analyysi tehtiin kaikille vesistöille, joiden WEI+ arvo oli yli 1 %. Näitä vesistöjä oli 11 kappaletta. Kuukausittaisessa analyysissä kausittainen vaihtelu tulee hyvin ilmi, sillä käytettävissä olevan veden määrä ja kastelu vaihtelee vuodenajasta riippuen paljon. Kuvassa 20 on esitetty viiden suurimman vuosittaisen WEI+ arvon saaneen vesistön keskiarvot eri kuukausien WEI+ arvoista vuosilta 2000–2011. Aurajoella, Sirppujoella ja Uskelanjoella WEI+ arvot nousevat kesäisin yli 20 %, jota pidetään veden niukkuuden rajana. Paimionjoella keskiarvo nousee kesäisin lähes 20 % tasolle. Kuvasta näkyy myös selvästi, että maaliskuussa veden niukkuus on pienintä, jolloin lumien sulamisvesiä on paljon. Veden niukkuus kasvaa voimakkaasti touko- ja kesäkuussa, kun haihdunta ylittää sadannan. Maatalousvaltaisilla valuma-alueilla peltojen kastelu lisää kesäkuukausien veden niukkuutta voimakkaasti.



Kuva 20. Viiden vesistön kuukausittaiset keskimääräiset WEI+ arvot.

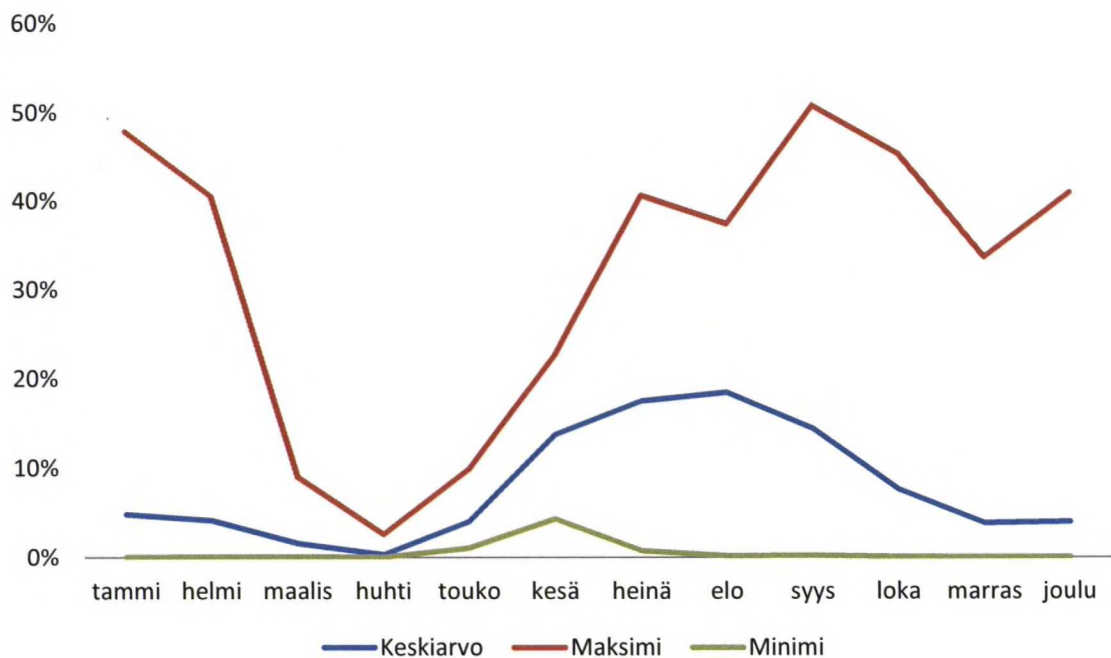
Kun vuosittainen WEI+ arvo lasketaan keskiarvona kuukausien WEI+ arvoista, eikä vuosittaisista arvoista, ovat tulokset selvästi suurempia. Tämän selittää esimerkiksi se, että kuukausittaisessa analyysissä kastelu on jakaantunut kolmelle kuukaudelle, kun taas vuosittaisessa analyysissä koko vuodelle. Myös varaston vaihtelut tasaantuvat vuoden mittakaavassa. Kuvassa 21 on esitetty kuukausittaisessa analyysissä olleiden vesistöjen vuosianalyysin ja kuukausianalyysin WEI+ arvojen keskiarvo vuosilta 2000–2011.



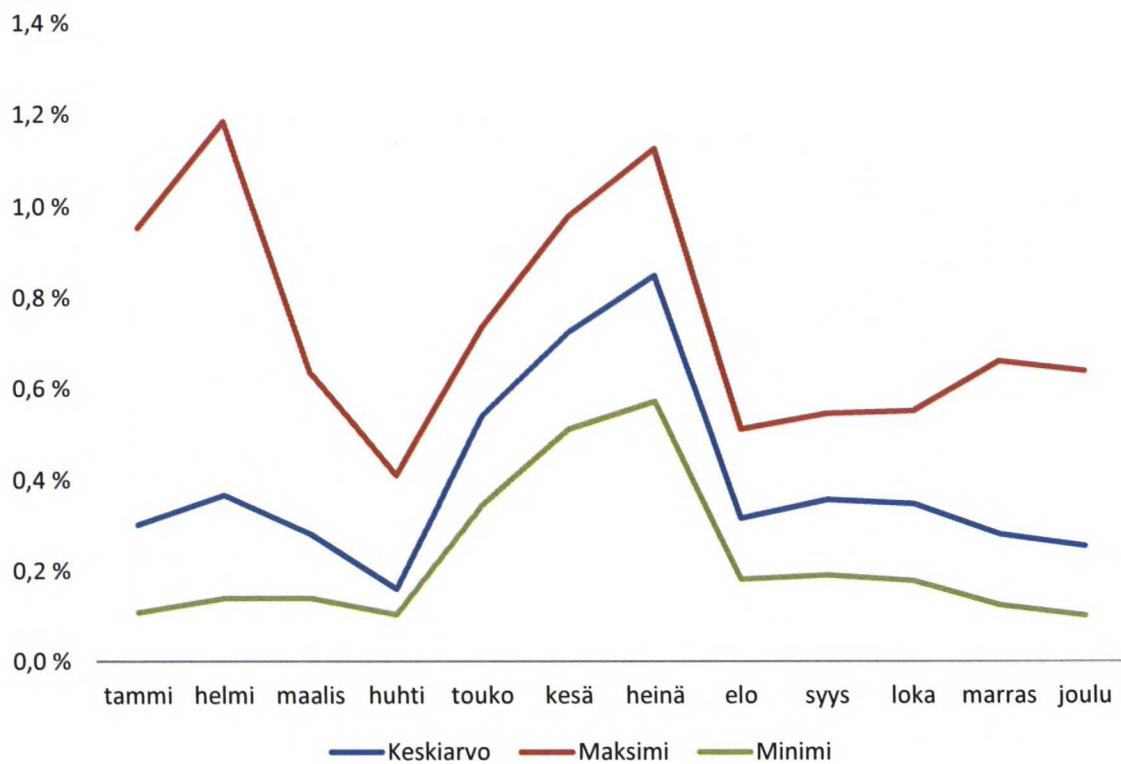
Kuva 21. Vuosittaisten ja kuukausittaisten WEI+ analyysien keskiarvot vuosilta 2000–2011

Kuvissa 22 ja 23 on esitetty Paimionjoen ja Kokemäenjoen WEI+ arvojen keskiarvot, minimi ja maksimit. Näistä kuvista on nähtävissä vuosittaisen vaihtelun suuruus. Esimerkiksi Paimionjoella oli vuoden 2003 talvena poikkeuksellisen suuri WEI+ arvo (tammikuussa 2003 WEI+ oli 48 %), joka johtui poikkeuksellisen kuivasta vuodesta. Sama kuivuus näkyy myös Kokemäenjoen tilastossa, jossa tarkastelukauden talven maksimit ovat samalta vuodelta. Paimionjoella vaihtelua tuo myös veden pumppaaminen Aurajokeen, mistä maksimi-arvot enimmäkseen johtuvat. Tämän voi myös havaita tapaustutkimuksesta joka esitetään myöhemmin, kohdassa 6.5.

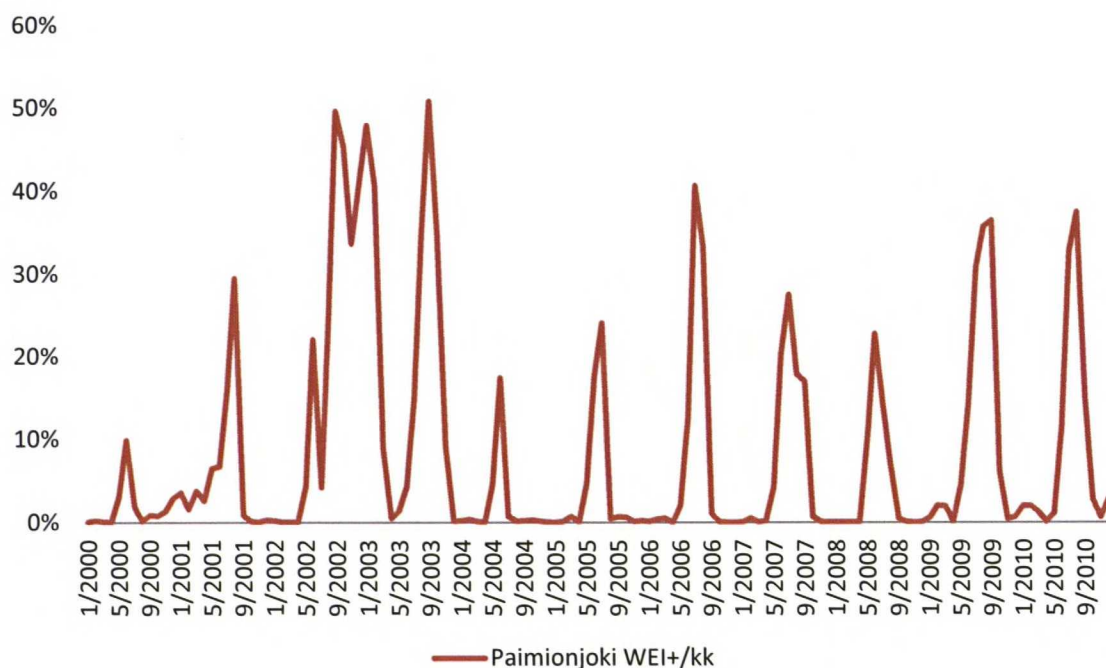
Kuvassa 24 on esitetty vuosien 2000–2010 Paimionjoen kuukausittaiset WEI+ arvot. Kuvasta voidaan huomata kuinka paljon arvot vaihtelevat vuosien sisällä, mutta myös vuodesta toiseen. Kuvasta voi myös havaita, että 20 % pidetty veden niukkuuden raja ylittyy yhdeksänä tarkasteluvuotena ja vakavana veden niukkuuden rajana pidetty 40 % kolmena. Jos tarkastellaan kuukausitasolla, niin 20 % raja ylittyi 23/132 (11 a * 12 kk on 132 kk) kertaa, joista 40 % rajan ylittyi 7/132 kertaa. Vuosina 2000 ja 2004 20 % raja ei ylittynyt kertaakaan. Kokemäenjoella WEI+ arvo ei ylitä tarkastelujakson aikana edes 2 % rajaa kertaakaan. Kuukausitarkastelun tulokset ovat taulukkomuodossa liitteessä 4.



Kuva 22. Paimionjoen kuukausittaisten WEI+ arvojen keskiarvo, minimi ja maksimi.



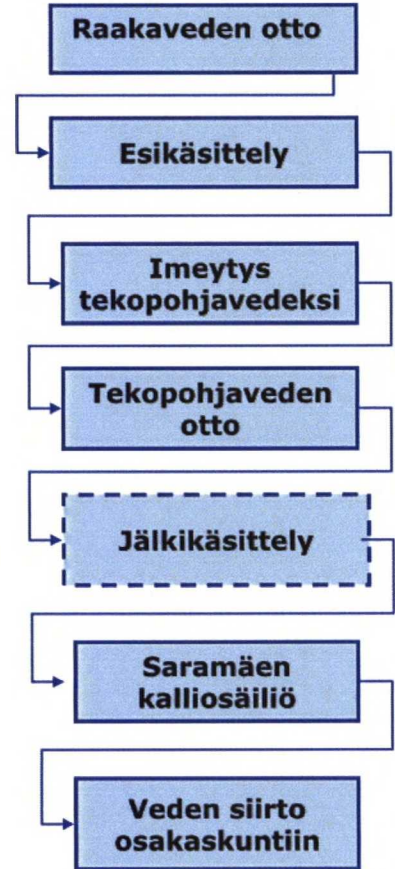
Kuva 23 Kokemäenjoen kuukausittaisten WEI+ arvojen keskiarvo, minimi ja maksimi.



Kuva 24. Paimionjoen kuukausittaiset WEI+ arvot vuosilta 2000–2010.

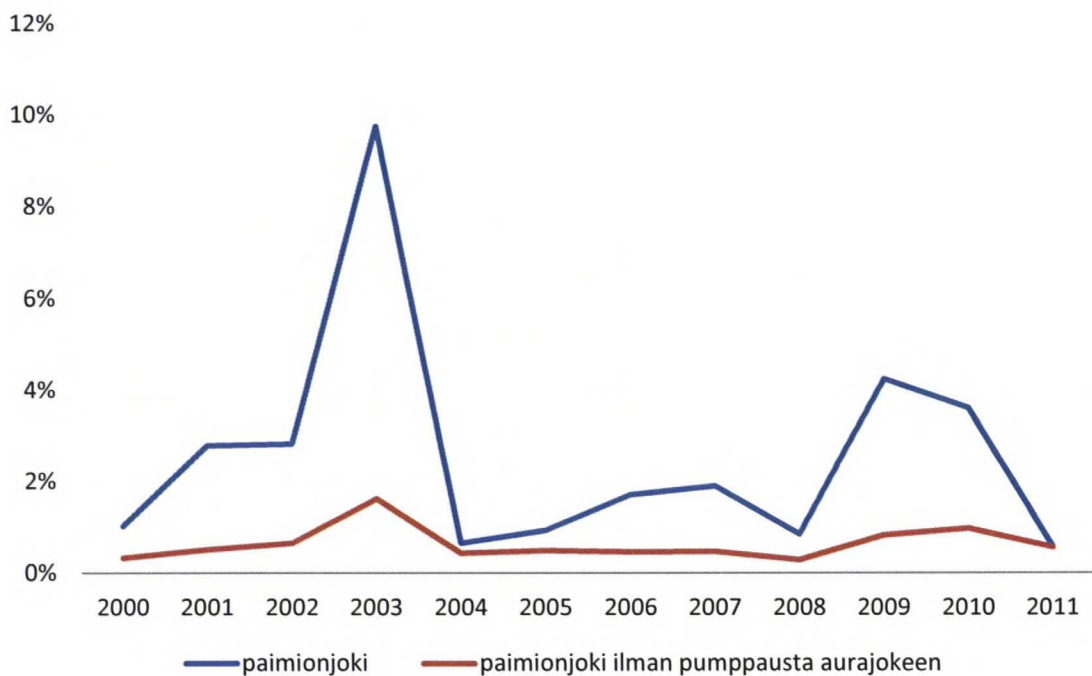
6.5 Tapaustutkimus: Virttaankankaan vaikutukset veden niukkuuteen

Turun seutu uudistaa vesihuoltonsa Virttaankankaan tekopohjavesihankkeella, jossa raakavesi otetaan Kokemäenjoesta, esikäsitellään ja johdetaan Virttaankankaalle (Turun Seudun Vesi Oy, 2012). Virttaankankaalla vesi imeytetään tekopohjavedeksi (kuva 25). Hankkeella on tarkoitus saada tekopohjavettä 290 000 asukkaalle. Mitoitus-suureena on käytetty Turun Seudun Vesi Oy:n osakuntien varaamaa vesimäärää vuodelle 2030, joka on $100\,500\text{ m}^3/\text{vrk}$ eli $36,68\text{ Mm}^3/\text{v}$. Maksimikapasiteetti on mahdollista nostaa $120\,000\text{ m}^3/\text{vrk}$ mikä tarkoittaisi $43,8\text{ Mm}^3/\text{v}$ (Artimo et al. 2007). Tampereen ja Valkeakosken seudun kuntien tekopohja-vesihanke (Tavase) on mitoitusvirtaamaltaan vajaa puolet Virttaankankaasta, eli $70\,000\text{ m}^3/\text{vrk}$ (Tavase Oy, 2011). Se eroaa kuitenkin Virttaankankaasta siinä, että vettä ei pumpattaisi toiseen vesistöön. Virttaankankaan projekti on mielenkiintoinen veden niukkuuden näkö-kulmasta, koska se käytännössä lopettaisi veden pumppauksen Paimionjoesta Aura-jokeen. Tässä tapaus-tutkimuksessa on testattu, miltä Aurajoen, Paimionjoen ja Kokemäenjoen WEI+ arvot olisivat näyttäneet vuosina 2000–2011, jos pohjavesihanke olisi ollut jo käynnissä. Hanke ja sen ympäristövaikutukset ovat herättäneet paljon keskustelua ja vastustusta (Virttaankankaan suojeluyhdistys, 2012). Tämä tutkimus ei ota kantaa hankkeen oikeu-tukseen, vaan tutkimuksessa keskitytään ainoastaan veden niukkuuden tarkasteluun.

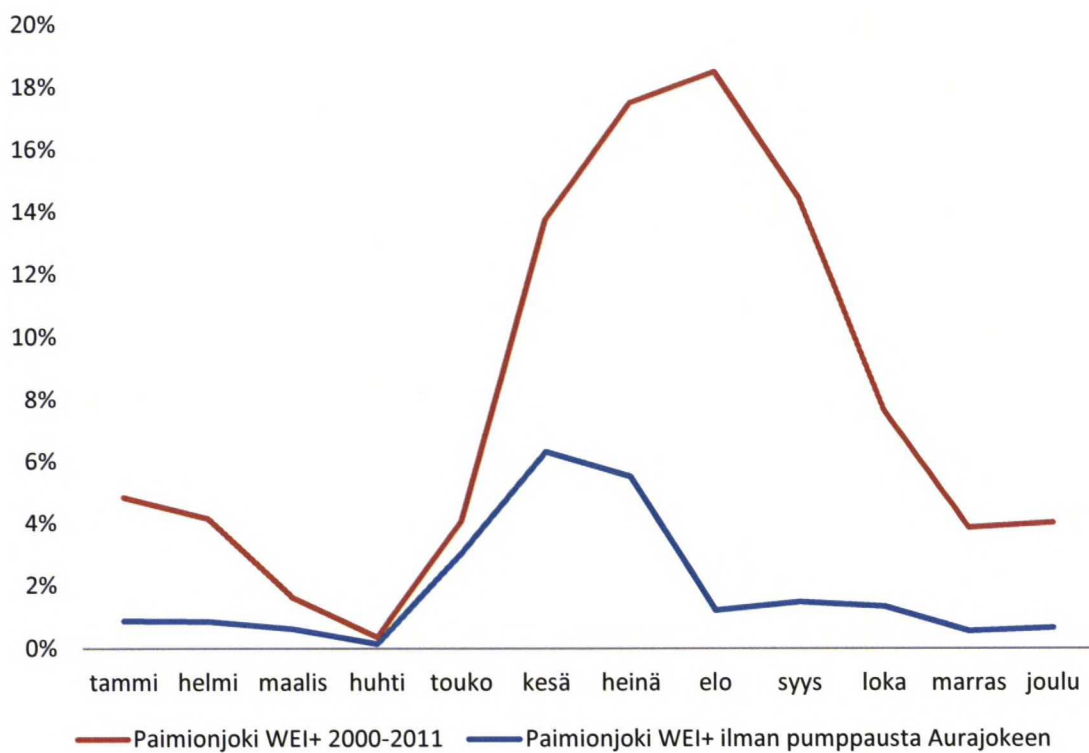


Kuva 25. Virttaankankaan pohjavesihankkeen yleiskartta ja prosessikaavio. (Valtonen, 2009)

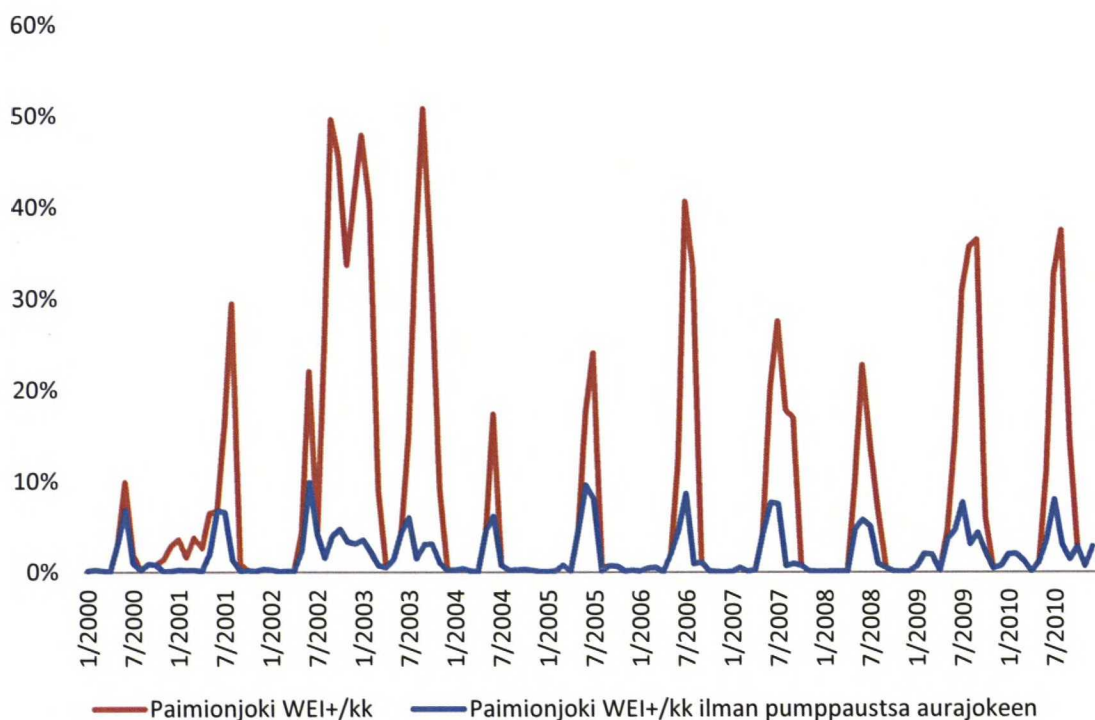
Kuvissa 26, 27 ja 28 on esitelty hankkeen vaikutuksia Paimionjokeen. Kuvassa 23 on esitettyä vuosittaisen keskiarvojen muutos ja kuvassa 24 kuukausittaisen keskiarvojen muutos. Molemmista kuvista voi havaita, että Virttaankankaan vaikutus Paimionjoen veden niukkuuteen on erittäin positiivinen. Kuva 27 näyttää asian vielä paremmin. Paimionjoella yhdenkään kesän WEI+ arvot eivät ylitä 10 % rajaa.



Kuva 26. Paimionjoen vuosittaisen WEI+ keskiarvo pumppauksella ja ilman.

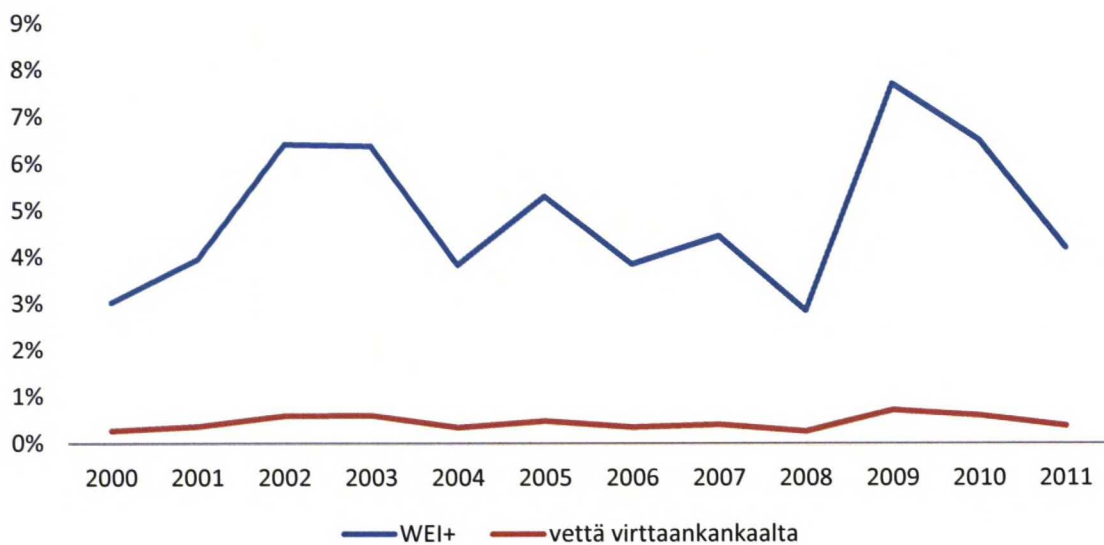


Kuva 27. Paimionjoen kuukausittainen WEI+ keskiarvo vuosilta 2000–2011 pumppauksella ja ilman.



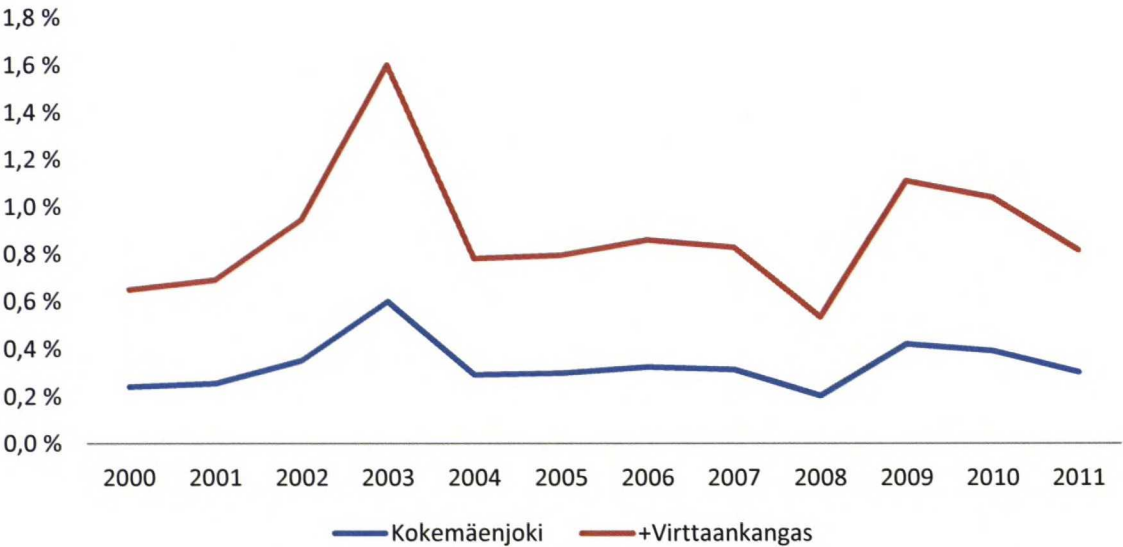
Kuva 28. Paimionjoen kuukausittainen WEI+ pumppauksella ja ilman.

Kuvassa 29 on laskettu Aurajoen WEI+ ilman raakavedenottoa Aurajoesta, koska Virttaankankaan tapauksessa talousvesi johdetaan verkostoon suoraan. Suuren asukaslu- kunsu takia talousveden määrä Aurajoen alueella on selkeästi suurin veden niukkuutta aiheuttava tekijä, joten Virttaankankaan vaikutus veden niukkuuden näkökulmasta on ilmeinen. Aurajoen keskimääräinen WEI+ arvo laskee noin yhden prosentin tasolle.

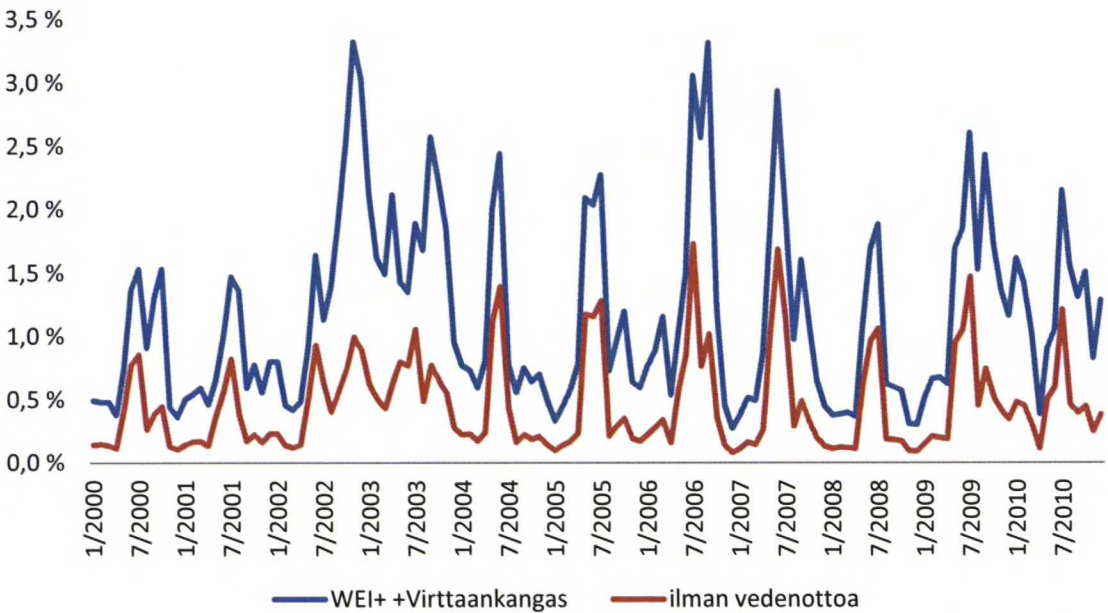


Kuva 29. Aurajoen vuosittaisen WEI+ keskiarvo kun talousvesi tulee Virttaankankaalta tai Aurajoesta.

Virttaankankaan tekopohjavesi otetaan Kokemäenjoesta. Kuvassa 30 on esitetty hankkeen vaikutusta Kokemäenjokeen. Punainen käyrä edustaa suunniteltua tilannetta jossa vedenotto on 100 500 m³/vrk (Turun Seudun Vesi Oy, 2012). Sininen käyrä osoittaa nykyistä tilannetta ilman pumppausta. Todennäköisesti vettä ei pumpata koko ajan mitoitusmäärän mukaan, vaan tarpeen mukaan, mitoitusvirtaaman ollessa maksimi. Veden niukkuus Kokemäenjoessa kasvaa selvästi, jopa kaksin- tai kolminkertaistuu, mutta se on silti alle 2 % luokkaa. Kuvassa 31 on tarkasteltu asiaa kuukausitasolla. Tulokset ovat samansuuntaisia ja maksimit jäävät alle 3,5 %.



Kuva 30. Kokemäenjoen vuosittaiset WEI+ keskiarvot ilman pumppausta ja pumppauksen mitoitusarvolla laskettuna.



Kuva 31. Kokemäenjoen kuukausittaiset WEI+ arvot ilman pumppausta, sekä pumppauksen mitoitusarvon kanssa.

7 Indikaattorivertailun tulokset

Ympäristöä kuvaavia indikaattoreita on monia, ja veden niukkuutta kuvaavia indikaattoreita on tehty ennen WEI+ indikaattoria. On tärkeää, että indikaattori on hyvä ja informatiivinen. Tässä luvussa testataan onko WEI+ indikaattori hyvä erityisesti Suomessa, mutta myös yleisemmin. Testaus suoritetaan Bockstallerin ja Girardin (2003) kehittämien mittareiden mukaan, sekä verraten WEI+ tuloksia muutamaan muuhun olemassa olevaan vedenniukkuusindikaattoriin.

7.1 WEI+ indikaattorin luotettavuus

Bockstallerin ja Girardin (2003) mukaan hyvän indikaattorin tulee täyttää seuraavat kriteerit:

1. Yksinkertaisuus
2. Helppolukuisuus
3. Koulutuksellinen arvo / Opettavaisuus
4. Tarkkuus
5. Mukautuvuus / Sopeutuvuus
6. Hyödyllisyys

Aveline et al (2009) ovat arvioineet MERLIN-indikaattorin ominaisuuksia Bockstallerin ja Girardin (2003) menetelmällä asteikolla 1-4, jossa 1 tarkoittaa, että ehto ei toteudu ja 4, että ehto toteutuu hyvin. Arviot tulisi tehdä laajan asiantuntijajoukon avulla, mutta tässä tarkastelussa indikaattoria tarkastellaan pintapuolisemmin ainoastaan työn kirjoittajan sekä kolmen vesitekniikan asiantuntijan toimesta (työn ohjaajat sekä valvoja). Kirjallisesti indikaattoria on arvioinut ainoastaan työn kirjoittaja. Numeerisen arvioinnin tulokset ovat esitetty taulukossa 4.

Yksinkertaisuus

WEI+ indikaattorin konsepti on helppo ymmärtää. Siinä vertaillaan veden kulutusta vesivaroihin. Tämä on helppoa ja yksinkertaista ja käsitteet ovat helposti ymmärrettävissä.

Helppolukuisuus

WEI+ arvo on suora prosenttiluku, siitä kuinka paljon ihminen rasittaa vesistöä. Luku on helppo ymmärtää ja suhteuttaa arkijärjellä. Harhaanjohtavia saattavat kuitenkin olla raja-arvot, joihin lukua pitää verrata. Myös ympäristövirtaaman monimutkaisuus heikentää helppolukuisuutta.

Koulutuksellinen arvo / Opettavaisuus

Indikaattori antaa kuvan, siitä kuinka paljon ihminen rasittaa vesistöään. Koulutuksellinen ja opetuksellinen arvo on selkeä. Veden niukkuus on YK:n tasolla nostettu yhdeksi ihmiskunnan suurista haasteista.

Tarkkuus

Indikaattori perustuu EU:n ja Suomen tasolla paljon oletuksiin ja hajanaiseen aineistoon. Vesistöt joihin indikaattoria sovelletaan, ovat hyvin erilaisia. Tästä syystä indikaattori ei ole erityisen tarkka. Indikaattorin tarkoitus on paljastaa alueet, joilla on ongelmia veden niukkuuden kanssa. Tähän tavoitteeseen päästään heikommallakin tarkkuudella.

Mukautuvuus / Sopeutuvuus

Indikaattori soveltuu melko hyvin kaikkiin Euroopan erilaisiin vesistöihin. Käsitteet ja laskentakaavat ovat sen verran joustavia, että jokainen jäsenvaltio pystyy löytämään itselleen sopivan tavan laskea indikaattorin arvo, joka silti pysyy vertailukelpoisena.

Hyödyllisyys

Veden niukkuus on vakava ongelma, Euroopassa etenkin etelässä. Indikaattorin avulla voidaan muun muassa ohjata vettä säästäviä toimenpiteitä alueille, joilla niitä tarvitaan. Indikaattorin tarkoitus on tunnistaa veden niukkuudesta kärsivät alueet ja sen se melko hyvin tekee.

Taulukko 4. Työn kirjoittajan sekä kolmen vesitekniikan asiantuntijan arviot WEI+ indikaattorin ominaisuuksista sekä keskiarvo kaikista.

	Keskiarvo	Työn kirjoittaja	Vesitekniikan asiantuntijat		
Yksinkertaisuus	3,4	3,5	3	3	4
Helppolukuisuus	3,1	3	3,5	3	3
Koulutuksellinen arvo	3,3	3,5	3	3,5	3
Tarkkuus	2,4	2	3	2,5	2
Mukautuvuus	3,3	3	3,5	3,5	3
Hyödyllisyys	3,6	3,5	3,5	3,5	4

Bockstallerin ja Girardin (2003) mittareilla WEI+ indikaattori on melko tasavahva. Kaikki osa-alueet tulevat vähintään tyydyttävästi täytettyä. Helppolukuisuus riippuu raja-arvojen selkeydestä ja ympäristövirtaaman määrittelyn selkeydestä. Näitä ei ole vielä lopullisesti päätetty, joten tilanne saattaa tulevaisuudessa muuttua. Heikoimman arvosanan asiantuntijaryhmältä sai tarkkuus, mutta sekin on riittävän hyvä indikaattorin pääasiallisiin käyttötarkoituksiin. Vaikka tarkkuus riittäisikin indikaattorin tarkoituksiin, vähentää sen heikkous kuitenkin indikaattorin tieteellistä uskottavuutta ja jatkosovellusmahdollisuuksia. Tarkkuutta tulisikin tulevaisuudessa parantaa.

7.2 Vuositason vedenniukkuusindikaattoreiden vertailu

Vuositasolla indikaattoria on verrattu vanhaan EU:n vedenniukkuusindikaattoriin (WEI), sekä edelleen paljon esillä olevaan Falkenmarkin (1989) indikaattoriin. Vanhaan EU:n vedenniukkuusindikaattoriin on järkevää verrata, jotta uuden indikaattorin (WEI+) käyttöönoton mahdollinen hyöty voidaan selvittää. Falkenmarkiin puolestaan on perusteltua verrata, koska se on edelleen paljon käytetty mittari veden niukkuutta mitattaessa.

Falkenmarkin indikaattori

Kuvassa 32 on listattu tarkastelussa olleet vesistöt, sekä niiden WEI+, WEI ja Falkenmarkin (1989) arvo. Falkenmarkin indikaattoria ei yleensä ilmaista prosenttilukuna, vaan asteikolla, joka jo esitelty luvun 4.1 taulukossa 2. Tässä tarkastelussa Falkenmarkin indikaattori on skaalattu siten, että jokainen alueen ihminen kuluttaa 1700 m³ vuodessa, joka on vesistressin raja. Tästä saatua arvoa on verrattu alueen vuotuisiin vesivaroihin. Esimerkiksi Hiitolanjoella asuu 8467 asukasta, joten tässä tarkastelussa he kuluttavat vettä $8467 \cdot 1700 = 14,4 \text{ Mm}^3$, joka jaetaan alueen vuotuisella uusiutuvien vesien määrän keskiarvolla (2000–2011) 230,9 Mm³. Näin arvoksi saadaan siis $14,4/230,9 = 6,2 \%$. Falkenmarkin maakohtainen arvo koko Suomelle on 8,5 %.

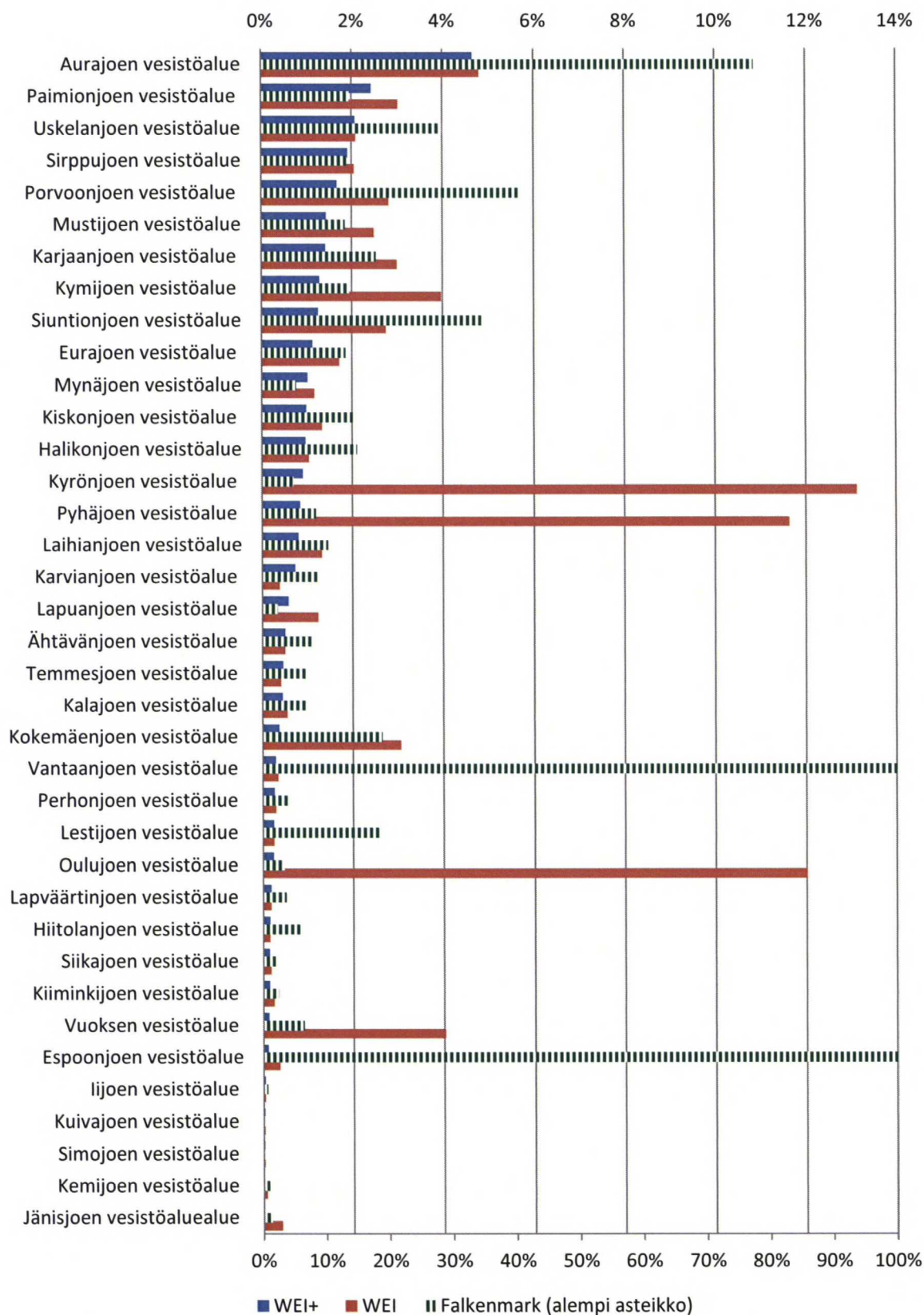
Kuvassa 31 Falkenmarkin indikaattorilla on oma asteikkonsa joka on rajattu 100 prosenttiin luettavuuden helpottamiseksi, sillä Espoonjoen Falkenmarkin arvo on 221 % ja Vantaanjoen vesistön 144 %. Nämä olisivat ainoat alueen, jotka näkyisivät Falkenmarkin tilastossa vesiniukkoina. Vantaanjoen vesistön luokiteltaisiin kärsivän vesistressistä, sillä vettä riittää 1176 m³/asukas/vuosi. Espoonjoen vesistön taas luokiteltaisiin kärsivän veden niukkuudesta, sillä siellä vettä riittäisi vain 766 m³/asukas/vuosi.

Kaikki muut vesistöt jäävät siis Falkenmarkin tilastossa alle 100 %, joka tarkoittaa "ei veden niukkuutta". Falkenmark ei ota huomioon ympäristövirtaamaa eikä muualta tulevaa vettä. Tästä syystä se ei onnistu kuvaamaan mitattavaa vesistöä luotettavasti, minkä Espoonjoki ja Vantaanjoki osoittavat.

WEI

WEI eroaa WEI+ indikaattorista tässä tapauksessa ainoastaan palautuvan veden osalta, jota ei siis WEI indikaattorissa oteta huomioon. Suurimmat WEI arvot saavat Pyhäjoki ja Kyrönjoki vesistö yltaen yli 10 prosentin arvoon WEI+ arvon jäädessä noin yhteen prosenttiin. Tämä selittyy Pyhäjoen suurella määrällä jäähdytysvettä, joka kuitenkin palautuu vesistöön. Sama pätee Kyrönjokeen, Vuokseen ja Oulujokeen. Suurimmassa

osassa vesistöjä ei arvoissa ole juuri eroja, koska WEI+ indikaattorissa on oletettu useassa vesistössä puhdistettujen jätevesien palautuvan suoraan mereen. Koko Suomen WEI arvoksi EEA (2009) on laskenut vuoden 1999 tiedoilla 2,16 %. Tarkastelussa olleiden vesistöjen keskimääräinen WEI+ on 0,81 %.



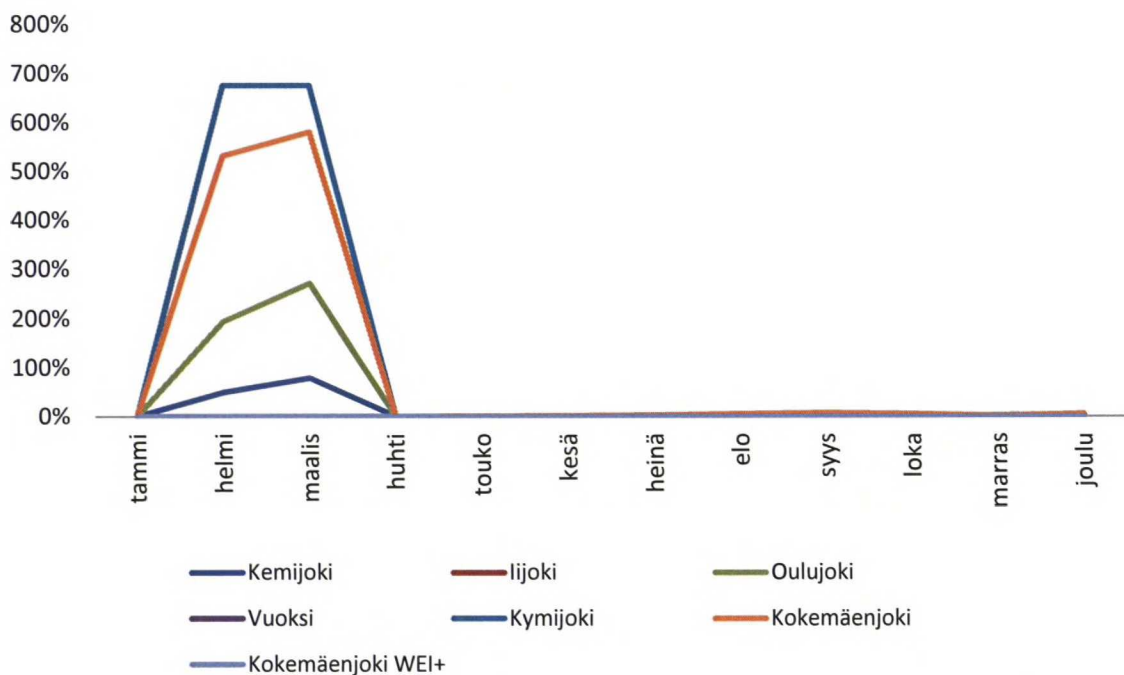
Kuva 32. Tarkastelussa olevien vesistöjen arvot WEI+, WEI ja Falkenmark –indikaattoreilla. Alempi asteikko on Falkenmarkin indikaattorille.

7.3 Kuukausitason vedenniukkuusindikaattoreiden vertailu

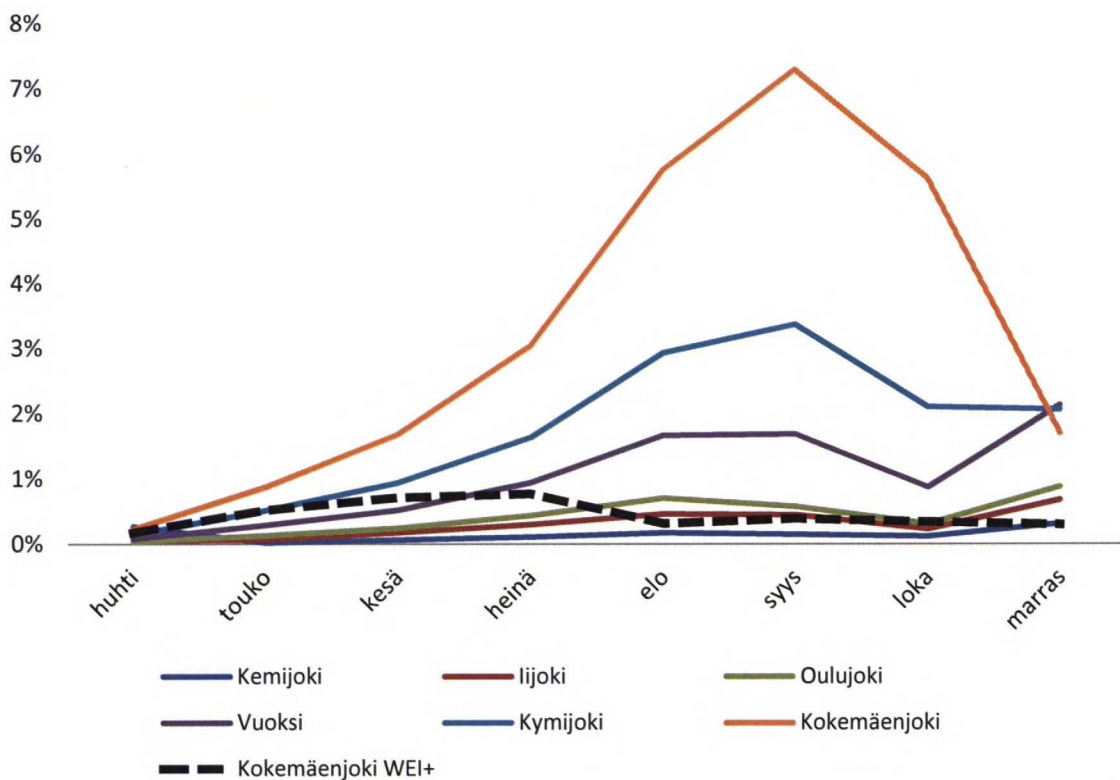
Kuukausitasolla veden niukkuutta mittaavia indikaattoreita ei ole ennen WEI+ indikaattoria kuin yksi. Hoekstra ja Mekonnen (2011) ovat soveltaneet vesijalanjälkeen perustuvaa menetelmäänsä kuukausitasolla kuuteen samaan vesistöön, jotka olivat WEI+ vuositason tarkastelussa. Joet ovat Kemijoki, Iijoki, Oulujoki, Vuoksi, Kymijoki ja Kokemäenjoki. Näistä Kokemäenjoki oli mukana myös kuukausitason WEI+ tarkastelussa.

Kuvassa 33 on esitetty Hoekstran ja Mekonnenin tuloksia Suomessa olevien vesistöjen kuukausittaisista veden niukkuuksista sekä Kokemäenjoen WEI+. Tulokset on muokattu samantyylliseksi prosentti-asteikoksi kuin WEI+ indikaattorissa, jossa kaikki yli 40 % arvot tarkoittavat vakavaa veden niukkuutta. Tuloksista huomaa heti, että tutkimus antaa todella suuria veden niukkuuden arvoja talvikuukausina. Tämä johtuu siitä, että tutkimuksen mukaan talven uusiutuvat vesivarat putoavat lähes nolnaan, joka taas johtaa lähes 700 % vedenniukkuusarvoihin. Tulokset voi kyseenalaistaa, sillä esimerkiksi Hoekstran ja Mekonnenin tilastojen mukaan Kokemäenjoen helmi- ja marraskuun valunta alueelta olisi vain 1,5 Mm³/kk. Todellisuudessa Kokemäenjoen talven valunta on noin 600 Mm³/kk. Menetelmää ei siis voi järkevästi soveltaa tai verrata WEI+ indikaattorin kanssa ainakaan talvikuukausina. Tarkemmilla lähtöarvoilla vesijalanjälki antaisi varmasti Suomessakin parempia tuloksia. Hoekstra ja Mekonnen ovat ottaneet virtaamatietonsa Fekeken et al (2002) työstä.

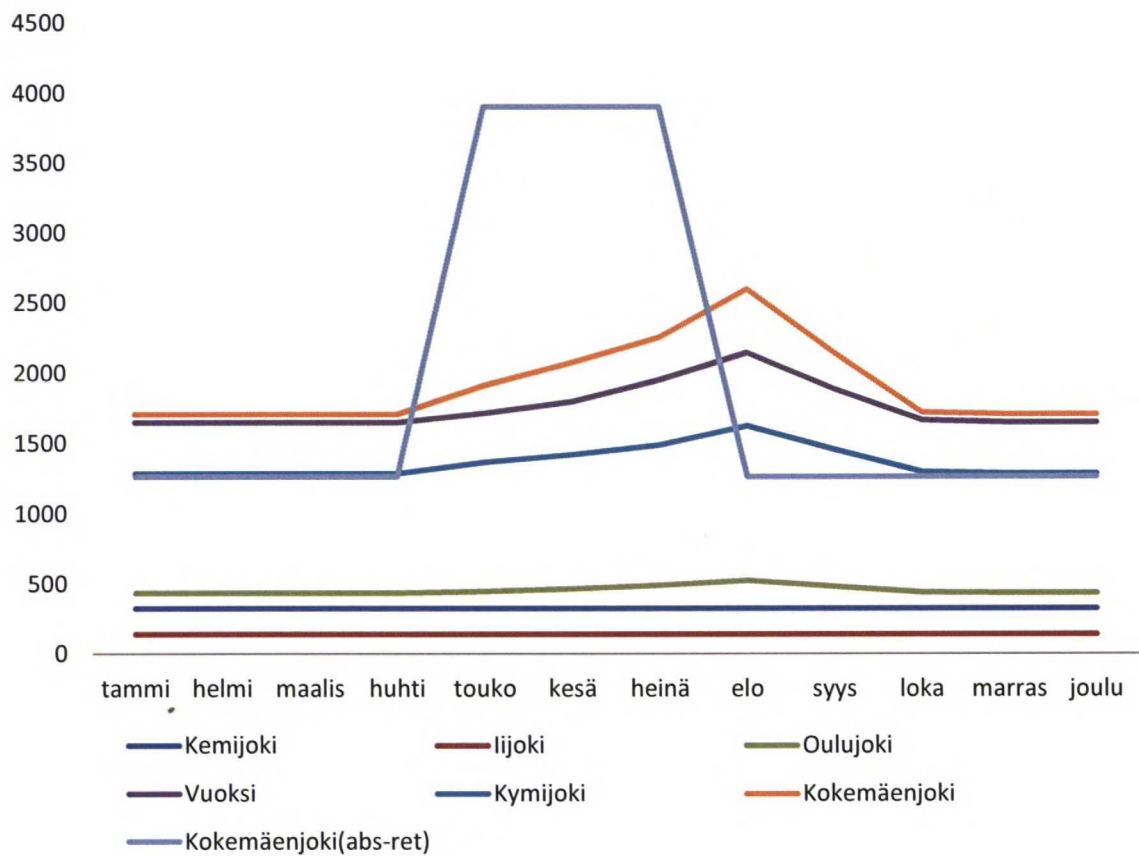
Vaikka talvien osalta vertailu on mahdotonta, voidaan vertailla kuitenkin muita kuukausia. Kuvassa 34 on vertailtu huhti-marraskuun vedenniukkuustuloksia. Hoekstran ja Mekonnenin (2011) tulokset Kokemäenjoelle ovat selvästi suuremmat kuin WEI+ tulokset, mutta tällä kertaa kuitenkin arvot ovat samaa suuruusluokkaa. Kuvassa 35 on laskettu miten vesijalanjäljen arvot vaihtelevat kuukausittain ja verrattu niitä WEI+ analyysin arvoihin. Vesijalanjäljen vedenkulutus saavuttaa piikin elokuussa. WEI+ laskujen käyrä puolestaan nousee kesän kastelun takia kesällä kolmeksi kuukaudeksi korkealle, jonka jälkeen se palaa alemmalle tasolle.



Kuva 33. Vesijalanjälki vedenniukkuusindikaattorin tuloksia Suomessa olevien vesistöjen kuukausittaisista veden niukkuuksista sekä Kokemäenjoen WEI+



Kuva 34. Vesijalanjälki vedenniukkuusindikaattorin tuloksia huhti-toukokuulta Suomessa olevien vesistöjen kuukausittaisista veden niukkuuksista sekä Kokemäenjoen WEI+



Kuva 35. Eri vesistöjen vesijalanjälki sekä Kokemäenjoen vedenotto – palautuva vesi ($10^3 \text{ m}^3/\text{kk}$)

8 Tulosten tarkastelu

Vuositasolla tehdyssä WEI+ tarkastelussa tutkituissa vesistöissä ei ilmennyt veden niukkuutta. Yksikään WEI+ arvo ei ylittänyt rajana pidettyä 20 %. Suurin WEI+ arvo, 4,7 %, oli Aurajoella. Tämä tulos on linjassa aikaisempien Euroopan laajuisten tutkimusten kanssa, joiden mukaan Suomessa ei ole veden niukkuutta (European Environment Agency, 2009). Jos tarkastelu jätettäisiin tähän, ei mitään ongelmia tule esille. Kun tarkastelussa siirryttiin kuukausitasolle Aurajoella, Uskelanjoella, Sirppujoella ja Paimionjoella, veden niukkuutta kuitenkin ilmeni. Kaikissa yllämainituissa vesistöissä saavutettiin yli 50 % kuukausittaisia WEI+ arvoja. Tällöin oli toki kyse kuivista vuosista ja kuukausista, mutta keskiarvonakin kesän huiput olivat noin 20–30 %. Tämä osoittaa, että veden niukkuutta on ja sillä voi olla vaikutusta esimerkiksi vesiekosysteemeihin.

Kokemäenjoella ei kuukausitarkastelussakaan ilmennyt veden niukkuutta, mutta Suomen luonnon erityispiirteet tulivat hyvin esiin. Kesäkuukaudet jolloin haihduntaa on paljon, mutta sadantaa vähän, ovat riskialteimmat kuukaudet. Tämä korostuu erityisesti maatalousvaltaisilla alueilla, joilla kasteluun kuluu paljon vettä juuri silloin kun siitä on eniten pulaa. Tulokset tukevat tätä, sillä WEI+ arvot ovat korkeampia Varsinais-Suomen vesistöissä, joissa on suhteellisesti eniten peltoja. Hoekstran ja Mekonnenin (2011) laskujen mukaan vedenniukkuuden suurin arvo saavutetaan vasta syyskuussa.

Hoekstran ja Mekonnenin (2011) vesijalanjälkeen perustuvaa vedenniukkuusindikaattoria lukuun ottamatta ei veden niukkuutta ole aikaisemmin kuukausitasolla laskettu missään. Kyseisessä tutkimuksessa on veden niukkuutta arvioitu kuudessa samassa vesistössä kuin tässä työssä. Laskentametodi ja -resoluutio ovat kuitenkin niin erilaiset, ettei kunnollista vertailua pysty kunnolla suorittamaan. Tuloksien suuruusluokka, muiden kuin talvien osalta, on kuitenkin samalla tasolla, eli selvästi alle lievän veden niukkuuden raja-arvon.

Kuukausitason WEI+ analyysi tehtiin tässä tarkastelussa kahdelletoista vesistölle. Kymmenen vesistöistä valittiin, koska niiden vuosittainen WEI+ arvo ylitti 1 %. Neljässä näistä vesistöistä oli toistuvasti veden niukkuutta kesäisin. Vuosittaisessa analyysissä vesistöt saivat WEI+ arvoksi kuitenkin huomattavasti pienempiä arvoja. Kuukausitestiin päätyneissä vesistöissä oli testin jälkeen suuria eroja, vaikka niiden vuosittaiset WEI+ arvot olivat melko lähellä toisiaan. Neljä vesiniukinta vesistöä vuosittaisessa analyysissä olivat myös vesiniukimmat kuukausianalyysissä.

Kuukausitesti antaa keskimäärin selvästi suurempia WEI+ arvoja, ja sitä voidaan pitää tarkempana mittarina kuin vuosittaista analyysyä. Kossida et al (2012) ovat EU:n komissiolle laatimassaan arvioinnissaan päätyneet samaan huomioon. Tästä syystä on suosi-

teltavaa käyttää kuukausittaista analyysiä, jos vain mahdollista. Tulosten pohjalta kuukausipohjainen analyysi olisi syytä suorittaa ainakin, jos vuositarkastelun WEI+ arvo ylittää yhden prosentin tai vesistön peltopinta-ala ylittää esimerkiksi 20 %. Peltoprosenttiperusteista valintaa ei ole tässä työssä testattu, mutta se olisi looginen valinta, koska kastelu on tulosten perusteella selvä kesien veden niukkuutta pahentava tekijä.

Suomessa elää vahvana käsitys maailman vesirikkaimmasta maasta. Tämä onkin totta suurimmassa osassa maata. Joissakin maatalousvaltaisissa, pienissä tai vähäjärvisissä vesistöissä veden niukkuutta on kuitenkin havaittavissa. Normaaaleina vuosina ongelmia tuskin on, mutta kuivuuden aikana tilanne pahenee todennäköisesti ensimmäisenä juuri näissä vesistöissä. Luonto kärsii kuivuudesta luultavasti eniten. Olisi tärkeää tehdä riskivesistöille kunnolliset ympäristövirtaama-mittaukset, jotta näiden vesistöjen ekosysteemien riskirajat tunnettaisiin. Tällöin olisi myös syytä tehdä tarkempi veden niukkuusanalyysi, kuin WEI+. Jos näiden toimenpiteiden jälkeen veden niukkuus havaitaan vielä uhkaksi, on perusteltua ryhtyä vettä säästäviin toimenpiteisiin vesistöissä.

Veden niukkuudella saattaa olla myös vaikutuksia vesien tilaan ja erityisesti VHS:n (vesien hoidon suunnittelu) edellyttämään hyvän tilan saavuttamiseen (Valtio-neuvoston periaatepäätös, 2006). Veden niukkuuden vähentäminen tulisi olla yksi VHS-työn tavoitteista, sillä jo se parantaisi yleisesti vesien tilaa.

Veijalaisen et al (2012) tutkimusten mukaan Suomessa sataa tulevaisuudessa enemmän, mutta kesät ovat kuivempia. Täten voidaan olettaa että kausittainen veden niukkuus Suomessa pahenee tulevaisuudessa. Kyse on kuitenkin hitaasta muutoksesta. On silti syytä tarkkailla tilanteen kehitystä jo nyt veden niukkuutta osoittavilla alueilla. Veijalaisen et al (2012) mukaan nykyiset säännöstelyluvut ovat tulevaisuudessa epätarkoituksenmukaisia virtaamien ja vedenkorkeuksien muutoksien johdosta. Säännöstelylupia uusiessa olisi järkevää huomioida myös veden niukkuus.

Tarkastelu ei kattanut kaikkia Suomen vesistöjä. Olisi järkevää suorittaa kuukausittainen WEI+ analyysi lopuillekin Suomen vesistöille. Pienissä vesistöissä epävarmuustekijät kasvavat, koska esimerkiksi vettä otetaan usein viereisistä vesistöistä ja jätevedet johdetaan mahdollisesti muualle. Tarkempi WEI+ analyysi vaatisi paikallistuntemusta, jotta vedenottoa ja palautumista pystytään arvioimaan tarpeeksi luotettavasti. Patojen vaikutuksia vesivarantoihin ja ympäristövirtaamiin tulisi myös tarkastella paikallisesti.

Virttaankankaan tapaustutkimus

Virttaankankaan pohjavesihanke saattaa olla ristiriitainen hanke monelta näkökannalta, mutta veden niukkuuden kannalta hanke on erinomainen. Hanke käytännössä poistaa talousveden vedenoton Aurajoesta ja siten lopettaa pumppauksen Paimionjoesta Aurajokeen. Nämä joet kuuluivat tämän tutkimuksen kuormitetuimpiin vesistöihin, ja tällä hankkeella veden niukkuus poistuisi tarkastelun perusteella molemmista. Kokemäenjoen vesistö on tarpeeksi iso, joten sille ei aiheudu vesistötasolla hankkeesta suuria muutoksia veden niukkuuden kannalta. Tapaustutkimus osoittaa kuinka indikaattoria voi käyttää myös esimerkiksi ympäristönvaikutusarviointeihin.

Tampereen tekopohjavesihanke Tavase, on monilta piireiltään samanlainen tekopohjavesihanke kuin Virttaankangas (Tavase Oy, 2011). Myös Tavase koettiin julkisuudessa ristiriitaiseksi. Raakavesi otetaan Roineesta, joka on osa Kokemäenjoen vesistöä, kuten Virttaankangaskin. Keskimääräisessä käyttötilanteessa vedenotto on 50 000-55 000 m³/vrk, mikä on siis noin puolet Virttaankankaan mitoituksesta (100 500 m³/vrk). Tapaukset eroavat kuitenkin toisistaan merkittävästi siinä, että Virttaankankaalla vesi pumpataan toiseen vesistöön, kun taas Tavasessa vesi palautuu samaan vesistöön käytön jälkeen. Tästä syystä suora vertailu veden niukkuuden suhteen ei ole järkevää valuma-alue tasolla. Tässä tapauksessa voisi siis olla järkevää tarkastella tilannetta osavaluma-alueiden kautta.

Indikaattorivertailu

Tulosten perusteella WEI+ on parempi ja tarkempi indikaattori kuin muut verrokkit. Falkenmarkin (1989) indikaattori ei toimi länsimaaisessa sivistysvaltiossa eikä varsinkaan pienissä vesistöissä, koska se on alun perin suunniteltu kehittyviin maihin ja maakohtaiseen tarkasteluun. Se ei ota huomioon kastelua tai palautuvaa vettä. WEI indikaattori toimii, mutta WEI+ on tarkempi ja antaa todenmukaisemman kuvan, koska palautuva vesi on laskettu mukaan. Vesijalanjälkeen perustuva indikaattori (Hoekstra & Mekonnen, 2011) toimii ehkä maailmanlaajuisesti, mutta pohjoisten vesistöjen lähtötietojen heikkouden takia, ei vertailua pystytty suorittamaan kunnolla. Kunnollisilla lähtötiedoilla vesijalanjälkeen perustuva indikaattori vaikuttaisi toimivan globaalissa mittakaavassa. Se ei ole kovin tarkka silloinkaan. Vesijalanjälkeen perustuvan indikaattorin vahvuus on, että tulokset ovat kuukausittaisia. Se onkin ainoa kuukausittainen vedenniukkuusindikaattori WEI+ indikaattorin lisäksi.

Bockstallerin ja Girardin (2003) kehittämän indikaattorin luotettavuutta mittaavan tarkastelun perusteella WEI+ indikaattorissa on vielä parantamisen varaa. Etenkin indikaattorin tarkkuutta tulisi parantaa, sillä parempi tarkkuus lisäisi indikaattorin uskotta-

vuutta ja sovellusmahdollisuuksia. Indikaattorin laskeminen ei myöskään ole aina aivan yksiselitteistä, mikä voidaan tosin lukea joko hankaluudeksi tai joustavuudeksi.

WEI+ indikaattori on pääasiallisesti tarkoitettu yleisen tietoisuuden lisäämiseksi ja päätöksenteon tueksi. WEI+ indikaattorin avulla voidaan yleistä tietoisuutta lisätä EU tasolla hyvin, jos se esitetään oikein ja hyvien karttojen kanssa. Päätöksenteon tukena muiden indikaattorien kanssa WEI+ pärjää myös hyvin.

9 Johtopäätökset

Tässä työssä testattiin EU:n uutta vedenniukkuusindikaattoria (WEI+) 37 Suomen vesistöön vuositason sekä 12 vesistöön myös kuukausitasolla. Tulosten perusteella Suomessa ei ole veden niukkuutta vuositason, mutta lievää kausittaista veden niukkuutta esiintyy kesäisin Varsinais-Suomessa neljässä vesistössä. Nämä vesistöt ovat Aurajoki, Uskelanjoki, Sirppujoki ja Paimionjoki. Indikaattorilla tehtiin tapaustutkimus Virttaankankaan tekopohjavesihankkeen vaikutuksista. Tulosten perusteella hanke on veden niukkuuden näkökannalta erinomainen Aurajoelle ja Paimionjoelle, koska Aurajoesta ei tarvitse enää ottaa talousvettä, eikä Paimionjoesta tarvitse pumpata vettä Aurajokeen. Sirppujoen ja Uskelanjoen vesistöissä olisi hyvä tehdä tarkempi vedenniukkuusanalyysi paikallistuntemusta hyödyntäen sekä ympäristövirtaama-analyysi. Suomen kannalta tämän työn tuloksia voidaan mahdollisesti hyödyntää vesienhoidon toisella suunnittelukierroksella. Tällöin lopuille Suomen vesistöille tulisi tehdä WEI+ analyysi. Jatkotutkimuksia ajatellen on suositeltavaa tehdä kuukausittainen analyysi jos vuosittaisen analyysin arvot ovat yli yhden prosentin tai vesistön peltopinta-ala on yli 20 %.

Indikaattorin luotettavuuden ja hyvyyden toteamiseksi sitä peilattiin muihin olemassa oleviin vedenniukkuusindikaattoreihin ja yleisiin indikaattoreiden hyvyttä kuvaaviin kriteereihin. WEI+ indikaattori kuvaa veden niukkuutta Suomessa paremmin kuin EU:n aikaisempi vedenniukkuusindikaattori (WEI), Falkenmarkin (1989) indikaattori ja vesijalanjälkeen perustuva vedenniukkuusindikaattori. Tämän tutkimuksen mukaan WEI+ indikaattorin käyttäminen on perusteltua. Erityisesti mahdollisuus kuukausittaiseen aika-askeleeseen tuo lisää tarkkuutta indikaattoriin. Indikaattori kehitettiin EU:n veden niukkuus- ja kuivuustyöryhmässä, mutta vain osa työryhmän jäsenmaista testasi indikaattoria koevesistöissään. Jatkossa indikaattoria tulisi soveltaa laajemmin ja tarkemmin, jotta se voitaisiin todeta Euroopan laajuisesti luotettavaksi ja toimivaksi. Parhaiten WEI+ indikaattori toimii yhdessä muiden indikaattorien kanssa, mutta sillä on tietoarvoa myös yksin.

Veden niukkuus on suomessa melko tuntematon käsite, eikä sitä juuri tutkita tai opeteta. Veden niukkuus on kuitenkin globaalisti todella suuri ongelma. WEI+ indikaattorin avulla Suomessakin voitaisiin asiasta keskustella, etenkin nyt kun asia nousee pinnalle vuoden 2012 lopussa ilmestyneen Euroopan komission tiedonannon ”Suunnitelma Euroopan vesivarojen turvaamiseksi” yhteydessä.

Vedenniukkuusindikaattorin tärkeimpiä ominaisuuksia yleisen tietoisuuden kasvattamisen lisäksi on sen kyky osoittaa kuivuudelle alttiit alueet. Näille alueille on päätöksentekijöiden mahdollista kohdentaa vettä säästäviä toimenpiteitä. Indikaattori osoittaa myös tavallisille ihmisille, että vesistöt eivät ole loppumattomia vesilähteitä, vaan

ihmisen toiminnalla on selvä vaikutus niihin. Indikaattori näyttää prosentuaalisesti, kuinka suuri vaikutus on, mutta todellinen vaikutus selviää vasta ympäristövirtaaman laskennan myötä. Vesistötasosten vedenniukkuustarkasteluiden yhteyteen tulisi aina tarvittaessa liittää ympäristövirtaamatarkastelu.

Lähdeluettelo

Alcamo, J. ym., 2003. Development and testing of the WaterGAP 2 global model of water use and availability. *Hydrological Sciences Journal* 3(48), pp. 317-337.

Arthington, A., Bunn, N., Poff, N. & Naiman, R., 2006. The challenge of providing environmental environmental flow rules to sustain river ecosystems. *Ecological Applications* 16, pp. 1311-1318.

Artimo, A., Puurunen, O., Saraperä, S. & Ylander, I., 2007. *Geologinen informaatio tekopohjavesihankkeen toteuttamisessa*, Turku: Turun Seudun Vesi Oy.

Aveline, A. Rousseau M.L., Guichard L., Laurent M., Bockstaller C., 2009. Evaluating an environmental indicator: Case study of MERLIN, a method for assessing the risk of nitrate leaching. *Agricultural systems*, 100(1-3), pp. 22-30.

Bockstaller, C. & Girardin, P., 2003. How to validate environmental indicators. *Agricultural Systems* 76, pp. 636-653.

Bunn, S. & Arthington, A., 2002. Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. ". *Environmental Management* 30, pp. 492-507.

Bäck, S., 2012. *EU vesipolitiikka, EU vesiensuojelustrategia, Blue Print. Esityskalvot. Vesivarayhdyshenkilöpäivät 2012, Ympäristöministeriö.*

Dunbar, M., Gustard, A., Acreman, M. & Elliot, C., 1998. *Overseas approaches to setting river flow objectives. R&D Technical report W6-161*, Oxon, UK.: Institute of Hydrology, Wallingford.

EEA (European Environment Agency), 2010. *Adapting to climate change - SOER 2010 thematic assessment*, Kööpenhamina: EEA.

Elo, P., 2004. *Paimionjoen säännöstelyn kehittäminen, Somero, Koski Tl.*, Turku: Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 4/2004.

Etelämäki, L., 1999. *Veden käyttö Suomessa. Suomen ympäristö 305*. Helsinki: Suomen Ympäristökeskus. 84 s.

Euroopan komissio, 2012. *Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, Euroopan talous- ja sosiaalikomitealle ja alueiden komitealle: Suunnitelma Euroopan vesivarojen turvaamiseksi*, Bryssel: Euroopan komissio.

European Comission, 2012. *A Blueprint to safeguard Europe's Waters*.
Saataavissa: http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/index_en.htm
[Haettu 5.4.2012].

European Environment Agency, 2005. *European Environment Outlook, EEA Report No 4/2005*, Copenhagen: European Environment Agency.

European Environment Agency, 2009. *EEA Signals 2009: Key environmental issues facing Europe*. Copenhagen, EEA.

European Environment Agency, 2012. *Who we are*.
Saatavissa: <http://www.eea.europa.eu/about-us>
[Haettu 27.3.2012].

Falkenmark, M., 1989. The Massive Water Scarcity Now Threatening Africa: Why Isn't It Being Addressed?. *Ambio* 18(2), pp. 112-118.

Falkenmark, M., Berntell A., Jägerskog A., Lundqvist J., Matz M. & Tropp H., 2007. *On the Verge of a New Water Scarcity: A Call for Good Governance and Human Ingenuity*, Stocholm: SIWI Policy Brief.

FAO, 2012. *AQUASTAT on-line database*.
Saatavissa: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>
[Haettu 23.5.2012].

Fekeke, B., Vörösmarty, C. & Grabs, W., 2002. High-resolution fields of global runoff combining observed river discharge and simulated water balances. *Global Biogeochemical Cycles* 16(3), pp. 15-1-15-10.

Gleick, P. H., 1996. Basic Water Requirements for Human Activities: meeting basic needs. *Water International (IWRA)* 21, pp. 83-92.

Gray, P. C. & Wiedemann, P. M., 1999. Risk management and sustainable development: mutual lessons from approaches to the use of indicators. *Journal of Risk Research* 2(3), pp. 201-218.

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. & Mekonnen, M., 2011. *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, London: Earthscan.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. & Mekonnen, M. M., 2009. *Water Footprint Manual*. Enschede: The Water Footprint Network.

Hoekstra, A. Y. & Mekonnen, M. M., 2011. *Global water scarcity: monthly blue water footprint compared to blue water availability for the world's major river basins*, Delft, the Netherlands: Value of water Research Report Series No. 53.

Hoekstra, A. Y., Mekonnen M. M., Chapagain A. K, Mathews R.E. & Richter B. D., 2012. Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. *PLoS ONE* (2012) 7(2) , pp. 1-9.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Geneva, Switzerland: IPCC.

IWMI (International Water Management Institute), 2007. *Water for food, water for life: A Comprehensive assessment of water management in agriculture*. London, Sri Lanka: IWMI.

Kajosaari, E., 1968. *Kuivakausista Suomen vesistöissä erityisesti vedenhankintaa ja vesiensuojelua silmälläpitäen*. Helsinki: Hydrologisen toimiston tiedonantoja XXVIII.

Kaurala, H. & Hellström, E., 2008. *Luonnonvarojen käyttö, osaaminen ja yhteistyö Suomessa*, Suomen Metsäyhdistys ry.

Kossida, M. Kakava A., Tekidou A., Iglesias A. & Mimikou M., 2012. *Vulnerability to Water Scarcity and Drought in Europe: Thematic assessment for EEA Water 2012 Report*, Prague: European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine Waters (ETC/ICM).

Kummu, M., Ward, P. J., de Moel, H. & Varis, O., 2010. Is physical water scarcity a new phenomenon? Global assessment of water shortage over the last two millennia. *Environmental Research Letters* 5 (2010) 034006, pp. 1-10.

Lyytimäki, J., Rinne, J., Petrus, K. & Assmuth, T., 2011. Using indicators to assess sustainable development in the European Union, Finland, Malta and Slovakia. *The Finnish Environment* 4, p. 78.

Lyytimäki, J. & Rosenström, U., 2009. Indikaattoriviestinnän vaikuttavuus ympäristöpolitiikassa: Esimerkkinä kestävä kehityksen raportointi. *Valtiovarainministeriön julkaisuja* 5, pp. 127-141.

Maa- ja metsätalousministeriö, 2009. *Vesivarojen käyttö ja hoito Suomessa*, Helsinki.

Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y., 2011. *National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption*, Delft, the Netherlands: Value of Water Research Report Series No. 50.

Milà i Canals, L. ym., 2009. Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I—inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 14, pp. 28-42.

Navarro, R. & Schmidt, G., 2012. *Environmental flows in the EU, Discussion paper*, EG WS&D, European commission.

Ohlsson, L., 2000. Water Conflicts and Social Resource Scarcity. *Phys. Chem Earth* 25(3), pp. 213-220.

Pajula, H. & Triipponen, J.-P., 2003. *Selvitys Suomen kastelutilanteesta, Esimerkkialueena Varsinais-Suomi*. Helsinki, Finland: Suomen Ympäristökeskus ja Lounais-Suomen Ympäristökeskus.

Pereira, L., Cordery, I. & Iacovides, I., 2002. *Coping with water scarcity*. Paris: UNESCO, international hydrological programme.

Poff, L. & Zimmerman, J., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology* 55, pp. 194–205.

Poff, N. ym., 1997. The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration. *BioScience* 47, pp. 769–784.

Raskin, P., 1997. *Water Futures: Assessment of Long-range Patterns and Problems*. Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute.

Rekacewicz Philippe, 2006. Le Monde diplomatique 2/2006, Vital Water Graphics 2, UNEP

Rosenström, U., 2009. *Sustainable development indicators: Much wanted, less used?*. Boreal Environment Research 33, p 75.

Rosenström, U. & Palosaari, M. (toim), 2000. *Kestävyyden mitta: Suomen kestävän kehityksen indikaattorit*. Suomen ympäristö 404, Helsinki.

Rösenström, U. & Lyytimäki, J., 2006. The Role of Indicators in Improving Timeliness of International Environmental reports.. *European Environment*, 16(1), pp. 32-44.

Savenije, H., 1999. Water Scarcity Indicators; the Deception of the Numbers. *Phys Chem. Earth (B)*, 25(3), pp. 199-204.

Seckler, D., Molden, D. & Barker, R., 1998. *Water Scarcity in the Twenty-First Century*, Sri Lanka: IWMI.

Seuna, P., 2012. *Vesivarat ja ravinnon tuotanto Euroopassa - esitys*. Helsinki: European Water Association.

Silander, J. & Järvinen, E. A. (toim), 2004. *Vuosien 2002–2003 poikkeuksellisen kuivuuden vaikutukset*. Suomen ympäristö 731, luonto ja luonnonvarat, 79 s.

Smakhtin, V., Revenga, C. & Döll, P., 2004. *Comprehensive Assessment Research Report No: 2 (2004): Taking into Account Environmental Water Requirements in Global-scale Water Resources Assessments*, IWMI.

Tavase Oy, 2011. *Tampereen ja Valkeakosken seudun kuntien tekopohjavesihanke*. Saatavissa: <http://www.tavase.fi/fi/hankekuvaus.html#tausta> [Haettu 30.1.2013].

The United Nations Conference on Environment and Development, 1992. *Agenda 21: Rio Declaration on Environment and Development*, Rio de Janeiro: United Nations.

Tike, 2010. *Maatalouden rakennetutkimus, Maatalouslaskenta 2010*, Tike, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus.

Tilastokeskus, 2000. *Luonnonvarat ja ympäristö 2000. Ympäristö ja luonnonvarat 2000:4*, Helsinki: Ympäristöministeriö ja Tilastokeskus.

Tilastokeskus, 2011a. *Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestörakenne*. Saatavissa: http://tilastokeskus.fi/til/vaerak/2011/vaerak_2011_2012-03-16_tie_001_fi.html [Haettu 11.1.2013].

Tilastokeskus, 2011b. *Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat: Teollisuuden vedenotto 2003-2009 (SYKE)*, Tilastokeskus.

Tilastokeskus, 2012. *Suomen virallinen tilasto (SVT): Väestöennuste*. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/vaenn/tie.html> [Haettu 14.6.2012].

Turun Seudun Vesi Oy, 2012. *Turun Seudun Vesi Oy*. Saatavissa: <http://www.turunseudunvesi.fi> [Haettu 26.6.2012].

UNEP FI, 2004. *Challenges of Water Scarcity*, UNEP FI and SIWI.
United Nations, 1992. *Report of the United Nations on environment and development*, Rio de Janeiro: United Nations, General Assembly.

Valtioneuvoston periaatepäätös, 2006. *Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015*, Ympäristöministeriö .

Valtonen, Jyrki, 2009. *Virttaankankaan pohjavesihanke, esityskalvot*. Turun Seudun Vesi Oy.

Veijalainen N., Jakkila J., Nurmi T., Vehviläinen B., Marttunen M & Aaltonen J., 2012. *Suomen vesivarat ja ilmastonmuutos – vaikutukset ja muutoksiin sopeutuminen. WaterAdapt-projektin loppuraportti*. Suomen ympäristö 16/2011, Luonnonvarat, p. 138.

Virttaankankaan suojeluyhdistys, 2012. *Pelastetaan Virttaankangas*. Saatavissa: <http://www.virttaankangas.fi/> [Haettu 6.26.2012].

WRI, 1996. (*World Resources Institute*) *World resources, a guide to global environment*. New York: Oxford University Press.

Vörösmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J. & Lammers, R. B., 2000. Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. *Science* 289, pp. 284-288.

Ympäristöhallinto, 2012. *Kokemäenjoen vesistöalue*.
Saatavissa: <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=386758&lan=fi&clan=fi>
[Haettu 27.3.2012].

Liite 1 – Veden niukkuuden ja kuivuuden määritelmiä

Liitteen 1 taulukko on EU veden niukkuus ja kuivuus asiantuntijaryhmän dokumentista: "Document: Working definitions of water scarcity and drought, 2012."

Dokumentin ovat tehneet: Guido Schmidt, Juan José Benítez, ja Carlos Benítez

Similarities and differences between drought and water scarcity

Furthermore, there are similarities and differences between drought and water scarcity. They can be defined in the following way for the EU policy purposes¹:

Table 1. Key elements for the definition of water scarcity and drought

Aspect	Drought	Water scarcity
Causes	Natural, due to a reduction of precipitation over a certain time period. High Temperatures, strong winds, low relative humidity, timing (onset, duration and end) as well as characteristics of rain can increase the severity.	Man-made, due to an overuse of water resources, caused by consumption becoming significantly higher than the natural renewable availability, or their pollution (reducing their suitability for water uses).
Occurrence	Drought is a normal, recurrent feature of all climates and can happen in all parts of Europe.. Its occurrence can be related to large-scale changes in atmospheric circulation patterns.	Due to the increase of water consumption, water scarcity is increasingly relevant and recurrent across Europe.
Duration	Droughts are very variable in their duration. They can last from a few weeks to several years	Usually, water scarcity is characterised by a permanent and continued degradation of water ecosystems and less water availability for other (economic) functions
Impacts	Very variable according to occurrence, severity and duration of the event as well as the sensitivity of affected ecosystems, economy and society and influenced also by the relative humidity of soils, capacity of storage for groundwater and streamflow of surface waters. When occurring in already water scarce affected areas, droughts shall have the most severe effects If water scarcity and drought pass certain thresholds, they can significantly affect the environment (terrestrial and freshwater ecosystems, air, soils, salt intrusion), the economy (agriculture and water uses) and society (e.g. urban water shortages, welfare, recreational activities, cultural and aesthetic concerns)	
Spatial extent	Regarding the geographical extension, droughts and water scarcity can happen at local level or cover entire RBDs. Drought events are even reported for wide areas of the EU.	

¹ Sources: compiled from all quoted references

Aspect	Drought	Water scarcity
Predictability	Drought forecasting is currently based both on statistical analysis of the historical occurrences and numerical weather forecast, with a timeframe from a few days up to several months (with increasing uncertainty). Its implementation is planned in the frame of EDO	Water scarcity is predictable for the mid- and long-term in the frame of RBMPs if adequate information on water availability and consumption and trends has been compiled, and considering the uncertainty e.g. of climate change predictions
Interaction	When droughts occur in an area characterised by water scarcity, their impact will be more severe, as they are more vulnerable. Heat waves can aggravate droughts and water scarcity situations. Water scarcity can also be an effect of overexploitation due to (concurrent) drought events, but this does not apply vice versa (drought is not an effect of water scarcity)	
Environmental thresholds	(Freshwater) ecosystems are often characterised by and adapted to recurrent natural variations in precipitation and streamflow ² . Nonetheless, exceptionally severe droughts -or the combined impact of droughts with man-made overabstraction/ water scarcity can result in irreversible changes in the ecosystems	Water scarcity usually affects the ecological status of ecosystems, depending on its duration, relevance and the sensitivity of the ecosystem (incl. functions and elements)
Costs	In general, few data are available about the precise costs of water scarcity or drought situations (for marketable sectors, like agriculture, energy,...). If data are available, they should evaluate the combined effects of a drought and geographically overlapping water-scarce area	
Public Awareness Indicators	The Standard Precipitation Index (SPI) reflects temporal deviations of rainfall with respect to the statistically expected rainfall derived from a reference period The Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (fAPAR) reflects deviations in the fraction of solar energy absorbed by vegetation canopy respect to the statistically expected from a reference period	The Water Exploitation Index (WEI+) reflects the relation between water availability and abstraction/consumption (still in testing phase)
Possible measures to prevent or mitigate effects	Drought forecasting, risk prevention (e.g. insurances, climate change adaptation, increased flexibility of water usage, increase water efficiency, protection of vulnerable species and habitats, governance rules for different drought thresholds) and emergency actions (e.g. water supply)	RBMPs, water management, metering and allocation, water demand management, increase water efficiency and reusing, protection of vulnerable species and habitats, pricing policies, etc.
DPSIR focus	Responses focus on Impacts	Responses focus on Drivers, Pressures, and Impacts

² Note that the case of non permanent rivers should be carefully tackled.

Aspect	Drought	Water scarcity
Possible policy responses	Development of Drought Management Plans (DMPs), water allocation systems and water governance rules and regulations. Support for insurance systems. Financial support for emergency actions (e.g. Solidarity Funds)	Reduction of pressures via sectoral policies (e.g. agriculture, energy, urban development) related to water usage (e.g. on water-usage planning, water allocation and pricing systems, control)

Liite 2 – WEI+ factsheet

WEI+: Water Exploitation Index Plus

Indicator definition

The Water Exploitation Index (WEI) is an indicator of **the level of pressure that human activity exerts on the natural water resources** of a particular territory, helping to identify those prone to suffer problems of water stress. Traditionally the WEI has been defined as the *annual total water abstraction as a percentage of available long-term freshwater resources*. It has been calculated so far mainly on a national basis.

A review and upgrade of the index (WEI+) has been developed by the Expert Group on Water Scarcity & Droughts with the purpose of better capturing the balance between renewable water resources and water consumption, in order to assess the **prevailing water stress conditions** in a river basin. The proposed WEI+ aims mainly at redefining the actual water exploitation, since it incorporates returns from water uses and effective management, tackling as well issues of temporal and spatial scaling.

Relevance of the Indicator to Water Scarcity

Water scarcity is a man-made phenomenon. It is a recurrent imbalance that arises from an overuse of water resources, caused by consumption being significantly higher than the natural renewable availability. Water scarcity can be aggravated by water pollution (reducing the suitability for different water uses), and during drought episodes.

Water abstraction to satisfy human needs is the most important quantitative pressure on freshwater resources. Excessive growth of demands in a territory in relation to the availability of water resources can result in the medium-long term in a chronic shortages situation characteristic of an unsustainable use of resources. This indicator can identify whether the rates of abstraction are sustainable, helping to analyse how changes in human consumption impact on the freshwater resources either by adding pressure to them or by making them more sustainable.

Policy Relevance

Water Framework Directive WFD (Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy):

- Environmental objectives
- Quantitative status for groundwater
- Programme of measures

Communication of the EC to the Council and European Parliament: "Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union" (published on July 2007)

- Allocating water and water-related funding more efficiently: improving land-use planning
- Considering additional water supply infrastructures
- Fostering the emergence of a water-saving culture in Europe
- Improve knowledge and data collection, a water scarcity and drought information

system throughout Europe (paragraph 2.7.1.)

The WEI+ indicator can also support defining impacts of climate change scenarios, and ensuring adaptation, such as included in the 2009 White Paper on "Adapting to climate change: Towards a European framework for action", in particular chapter 3.2.3.

Technical Information

1. Indicator

The EG has agreed that WEI+ would be formulated in these terms:

$$\text{WEI+} = (\text{Abstractions} - \text{Returns}) / \text{Renewable Water Resources}$$

In order to better reflect real exploitation and its effects on water scarcity this formula includes in the denominator the water resources provided by artificial reservoirs.

2. Spatial Scale

To correctly represent the problem of water scarcity and to meet awareness purposes, River Basin Districts or - following the diction of Art. 5(1) of the WFD - the portion of an international RBD falling within a Member states territory. Other relevant scales may be the smaller River Basins that constitute RBDs, respectively their national parts or significant Sub-basins respectively their national parts when relevant for water management.

3. Temporal Scale

In some basins, water scarcity is reflected only when calculating the indicator at the monthly WEI+ but not necessarily by the annual WEI+. It is recognized that the monthly index level best represents seasonal shortages that may not be revealed in the annual scale, while the annual WEI+ may be enough where the absence of water scarcity problems is evident.

Given that the application of the index on a monthly basis in some cases requires considerable effort in data acquisition, the TWG recommends a two-step approach. In a first step the WEI+ at annual scale would be applied. Where appropriate and if data are available, WEI+ at monthly scale should be calculated either for every month or in the worst month where water scarcity situations could be expected.

In any case, if the problem of data acquisition is adequately solved by the outputs of water balance models (under development at EU level); the monthly basis would be adopted as the general approach.

4. Methodology

a. Water Resources and related parameters

In **basins free of human interventions**, the hydrological balance equation is:

$$\text{ExIn} + \text{P} - \text{Eta} - \Delta \text{S} = \text{Qnat}$$

Both sides of this equation may be identified with Renewable Water Resources (RWR):

Option 1. $\text{RWR} = \text{ExIn} + \text{P} - \text{Eta} - \Delta \text{S}$

Option 2. $RWR = Q_{nat}$

In this case ΔS is the natural change in storage and Q_{nat} equivalent to observed outflow. Definition of the terms of the equation follows:

Actual External Inflow (Ext.In) Total volume of actual flow of rivers and groundwater, coming from neighbouring territories (e.g. RBDs) within or outside the country. Units in mio m^3 .

Precipitation (P) Total volume of atmospheric wet precipitation (rain, snow, hail). Precipitation is usually measured by meteorological or hydrological institutes. Units in mio m^3 .

Actual Evapotranspiration (ETa) Total volume of evaporation from the ground, wetlands and natural water bodies and transpiration of plants. According the definition of this concept in Hydrology, the evapotranspiration generated by all human interventions is excluded, except rain-fed agriculture and forestry. The 'actual evapotranspiration' is calculated using different types of mathematical models, ranging from very simple algorithms (Budyko, Turc-Pyke, etc) to schemes that represent the hydrological cycle in detail. Please do not report potential evapotranspiration which is "the maximum quantity of water capable of being evaporated in a given climate from a continuous stretch of vegetation covering the whole ground and well supplied with water". Units in mio m^3 .

Change in storage (ΔS) Changes in the stored amount of water (>0 , if storage is increasing!) during the given time period, including river bed, lakes, underground water (soil moisture and groundwater) as natural part of the storage (ΔS_{nat}) and in regulated lakes or artificial reservoirs (ΔS_{art}). ΔS can be ignored for long-term averages, to be evaluated in annual calculations and to be considered in monthly calculations. ΔS_{res} is different from zero if the amount of filling in and the release are different in the given time period. Units in mio m^3 .

Natural Runoff (Q_{nat}) Actual outflow of rivers and groundwater into the sea plus actual outflow into neighbouring territories (within or outside the country). Units in mio m^3 .

To be applied in **basins with human alterations**, since observed outflow does not equal RWR, for option 2, flow re-naturalization is necessary. It can be made by restoring consumption (abstractions – returns) and flow alteration linked with management, which may be approached by adding the variation in artificial storage:

Option 1. $RWR = ExIn + P - ETa - \Delta S_{nat}$

Option 2. $RWR = \text{Outflow} + (\text{Abstraction} - \text{Return}) - \Delta S_{art}$

Results of the 2nd Testing Exercise show practical difficulties of considering variation of natural storage in Option 1. Some unacceptable mistakes in the results have been observed if there are no appropriate tools to assess ΔS_{nat} (e.g. from an integrated hydrological model). Option 2 has been the preferred choice of most of the TWG members who have participated in this test. However, have come to light some issues that are mentioned below:

- Difficulties to re-naturalize flows in complex system of reservoirs on a monthly basis.
- If over-exploitation of aquifers, these fraction must be removed from the RWR.
- Significant delays in the transmission of groundwater withdrawals to flows observed on the surface.
- In case part of the water stored in the artificial reservoirs comes from a transfer (as opposed to generated within the RBD) or from a desalination plant, then the ΔS_{art} needs to be carefully considered and corrected for the effect of these alternative water resources (i.e. water transfers, desalination)

However, when estimating RWR, the TWG recommends "using the best option based on available information and certainty".

As suggested by some TWG members, a complementary sub-indicator could be developed, reflecting the water scarcity in relation to the overall available water resources, including all storage, natural and artificial. This sub-indicator could illustrate the water availability to solve e.g. emergency situations. A way of representing this indicator might be the evolution of stored

water resources over time, and comparing data with previous years or reference periods.

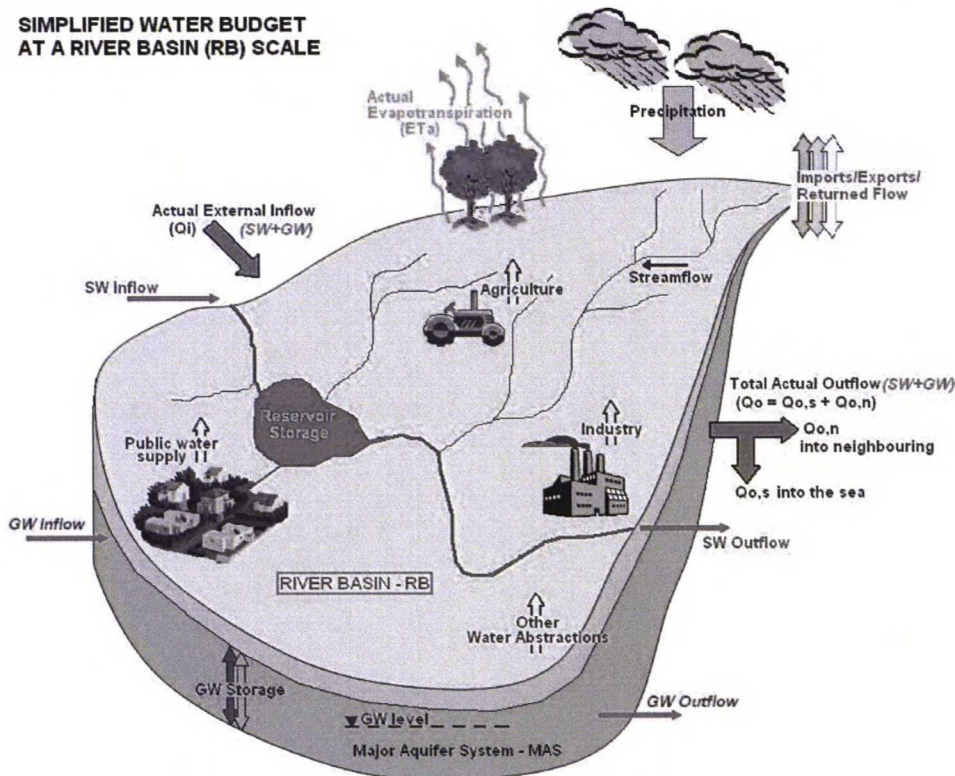


Figure 1: Schematic illustration of the simplified water budget. SOURCE: EEA, 2011.

b. Demand related parameters

Three similar terms are used apparently with similar meaning:

Freshwater abstraction (or freshwater withdrawal) Water removed from surface or groundwater resources, either permanently or temporarily, regardless of any input from water return or artificial recharge. Mine water and drainage water are included. Water abstracted for hydropower generation should be excluded from the formulation of the Water Exploitation Index (WEI+), while water abstracted for cooling should be included. Water abstractions from groundwater resources in any given time period are defined as total amount withdrawn from the aquifer. Units in mio m^3 .

Water Demand Water requirements of specific quality for different purposes, such as drinking, irrigation, etc., assuming that water availability is not a limiting factor. Water demand is theoretical (calculated or estimated) and can correspond to current situation or to future socio-economical scenarios. Units in mio m^3 .

Water Use In contrast to water supply (i.e. delivery of water to final users including abstraction for own final use), water use refers to water that is used (consumed) by the end users for a specific purpose, such as for domestic use, irrigation or industrial processing. (Usually the basis for paying fees.) Returned water (at the same place and in the same time period) and recycling is excluded. Units in mio m^3 .

All three of them imply a different indicator and convey a different message. "Freshwater Abstraction", evaluates the level of pressure exerted on the natural system. "Water use" reflects the amount of water that is removed from the terrestrial water cycle and returns to the atmosphere. "Water demand" may include requirements unsatisfied (actual or future) by lack of available resources and it is comparable to different availability scenarios, being more useful from a management perspective.

The TWG recommends using preferably the water abstraction parameter since it directly

measures how much pressure is exerted on the natural system.

If water demand is significantly higher than water abstractions, the TWG recommends the use of a parallel index, depicting the imbalance. The proposed indicator to use in parallel with the WEI+ is: Water Demand Index (WDI) = water demand / water abstraction.

c. Water returns

Returned water _____ Volume of abstracted water that is discharged to the fresh water resources of the hydrological unit (e.g. RBD, RB) either before use (as losses) or after use (as treated or non-treated effluent). It includes water that was directly discharged from a user (e.g. domestic, industrial etc. including cooling water, mining), and water lost from the waste water collection system (as overflow or leakage). Artificial groundwater recharge is also considered as returned water for the current purposes of calculation of WEI+. Discharges to the sea are excluded. Units in mio m^3 .

The TWG believes that water return is a relevant parameter to characterize actual pressures on natural systems. In this regard recommends this factor be included in the formula to better represent the real problems of water scarcity in the basins. Given the observed effects on the indicator values, the TWG recommends considering the returns in the nominator, as a decrease of the water abstraction, and not in the denominator. It is essential that that this volume is returned to the same unit where abstracted and where the indicator is being calculated (RBD or subunits or RB).

d. Artificial storage as a modification of monthly RWR

The particular issue of whether considering or not volumes stored in artificial reservoirs has also been dealt with. Results of the 2nd Testing Exercise reflect that in those basins where artificial reservoirs manage a significant percentage of the water resources, abstractions can be higher than the natural water resources in some months, leading to WEI+ values well above 100%. This would lead to problems of interpretation.

Since artificial reservoirs provide water resources used specifically to minimize water scarcity situations these volumes should be included in the formula, reflecting a seasonal redistribution, not altering the amount of Renewable Water Resources.

However, some members of the TWG noted that the use of this variable would mean additional work and added difficulty to find information.

e. The role of environmental flows

Environmental flows _____ Water quantity dedicated to maintaining or partially restoring important characteristics of the natural flow regime (i.e. the quantity, frequency, timing and duration of flow events, rates of change and predictability/variability) in such a way that values specified for the biological quality elements should not avoid to be classified as Good Ecological Status. Units in mio m^3 .

Environmental Flows should be conceptually considered in the WEI+. At the moment, due to the absence of a harmonized and comparable method of calculation, eflows should be left out of the WEI+ formula itself, and be considered instead in the definition of the relevant thresholds.

In order to better reflect hydrological pressures on the natural systems, the TWG recommends using in parallel a complementary sub-indicator as a relation of observed streamflow with respect to the natural streamflows. Ratio of Observed-Natural Streamflows (RoONS) = observed streamflows / natural streamflows.

f. Water requirements

Water requirements _____ Volume of water which must be retained in the catchment (thus not

actually available for abstraction) in order to meet different legal obligations (e.g. downstream navigation, environmental thresholds, as defined in transboundary treaties). Units in mio m^3 .

The TWG recommends exploring the reasons for this water reserve in treaties. When it is exclusively due to environmental reasons, recommendation 8 would be applicable. When this reserve was intended for limiting water abstractions, then it should be subtracted from available resources in the WEI+ formula.

g. Groundwater and surface water separation

Surface water _____ Inland waters, except groundwater; transitional waters and coastal waters. Units in mio m^3 .

Groundwater (available for annual abstraction) _____ Recharge less the long-term annual average rate of flow required to achieve ecological quality objectives for associated surface water. It takes account of the ecological restrictions imposed to groundwater exploitability, nevertheless other restrictions based on economic and technical criteria could also be taken into account in terms of accessibility, productivity and maximum production cost deemed acceptable by developers. The theoretical maximum of groundwater available is the recharge. Units in mio m^3 .

The separation between surface water and groundwater is very relevant and should be explored at a later stage.

g. Calculation

Calculations should be based on the water balance equation of the given period, taking into account the methodological and technical recommendations stated so far and assuring the consistent estimation of the abstraction and resources side:

$$\text{WEI+} = (\text{Abstractions} - \text{Returns}) / (\text{NWR} - \Delta \text{Sart})$$

h. Reference period for calculating the Statistics

Not applicable.

5. Thresholds

According to the literature, the warning threshold for WEI can be 20 %, which distinguishes a non-stressed region from a stressed region (Raskin et al., 1997, Lane et al., 2000). Severe water stress can occur where the WEI exceeds 40 %, indicating strong competition for water but which does not necessarily trigger frequent water crises. Some experts argue that 40 % is too low a threshold, and that water resources can be used much more intensely, up to a 60 % threshold. Others argue that freshwater ecosystems cannot remain healthy if the waters in a river basin are abstracted as intensely as indicated by a WEI in excess of 40 % (Alcamo et al., 2000).

In the framework of a *"Discussion Paper on Environmental Flows in the EU"* (Sánchez & Schmidt, 2012) a preliminary assessment of the relationship between environmental flows and ecological classes was carried out. According to these results, environmental flows lie roughly between 25% and 50% of the Mean Annual Runoff³ for the Good Ecological Status class.

Some members of the TWG have worked on the issue and advanced proposals based on the comparison with environmental flows already assessed (IT, CZ) or on statistical approaches (HU). Defining thresholds for the WEI+ is challenging and it requires in-depth investigations. However, preliminary thresholds should be used considering the environment and socio-economical relevance (e.g. the expected water deficit for existing uses in the basin). In this sense the values of WEI+ could also be correlated with the expected annual deficit.

³ Mean Annual Runoff is defined in this context as the long term average of the natural runoff.

Concerning the definition and especially the complexity of the thresholds it should be kept in mind that the indicator itself is robust and valuable although the calculations are relatively simple. This pragmatic approach should also be reflected by the thresholds.

6. Data source and frequency of data collection

The required data depends mainly on the methodological option selected for calculating RWR:

- In option 1, required data are: Precipitation, Actual Evapotranspiration, External Inflow and Variation of natural storage. These elements are considered very difficult to be consistently assessed without counting with an integrated hydrological model.
- In option 2 required data are the observed outflow, the abstractions, the estimated returns and the variation of artificial storage.

This data may be provided either by Member States or by tools already under development at the European level in the framework of the Blueprint, water accounts for the abstractions side and LISFLOOD model for hydrological cycle parameters. In the future a convergence of both estimates should be expected.

All the necessary data must be generated in a monthly basis.

7. Quality Information

a. Strength & Weaknesses at data level

Quality of the index depends on the quality of the data series used for the estimates. The elements needed in option 1 to calculate the RWR are considered very difficult to be consistently assessed without counting on an integrated hydrological model.

Where available, gauging stations provide robust series of observed outflow, but re-naturalization implies the other datasets that may not be so reliable.

Total abstraction is not always well known, particularly if non-authorised uses are important. There may also be substantial changes from one year to another depending on the availability, and when it is not possible to supply actual demand.

Finally, returned water includes a variety of components which are not easy to measure and also require estimates, particularly for irrigation, where losses in distribution systems and application to plot are estimated by applying efficiency coefficients.

b. Open conceptual issues

The issue of multiple counting of the same amount of water in large river basins (internal flow of the most upstream area creates the external inflow of the next downstream area and is in both areas considered as water resource) is still not solved. Therefore a foot-note should be added to the respective WEI+ values.

The separation between surface water and groundwater should be analysed in a future development.

c. Performance of the Indicator

The indicator is relatively easy to calculate and straightforward to use.

Depending on the specific situations of the member states, it can also be readily integrated with other indicators at the same scale and used for awareness raising purposes.

Products

The WEI+ can be presented in the form of maps and graphs, providing information both on the spatial distribution of the level of pressure that human activity exerts on the natural water resources and the temporal evolution over longer time periods. This allows for the qualitative and quantitative comparison of the intensity and duration of this pressure on water resources with recorded impacts such as yield reductions, low flows, or lowering of groundwater levels, for example.

References

- Alcamo, J., Henrich, T. & Rosch, T., 2000. World Water in 2025 - Global modelling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century. Report A0002, Centre for Environmental System Research, University of Kassel, Germany
- European Environment Agency, 2011. WISE-SoE WQ Data Request, Data Input Tool for the WISE-SoE#3 "State and Quantity of Water Resources" User Manual, v.1.2., July 2011.
- European Environment Agency, 2012. Towards efficient use of water resources in Europe. EEA Report No 1/2012.
- Poórová, J., Danáčová, Z. & Majerčáková, O., (2008): The Opportunities of the Present Methods of Water Resource Assessment in Slovakia. XXIV. Conference of Danube Countries: On the Hydrological Forecasting and Hydrological bases of Water Management. ISBN 978-961-91090-3-8
- Poórová, J.(2002): Measure of Influence of water usage on discharge series. International Conference: Participation of women in the fields of meteorology, operational hydrology and related sciences. Bratislava, 2002, SHMI, p. 179-189, fig. 5, lit.7 ang
- Sánchez, R. & G. Schmidt. 2012. Environmental flows in the EU. Discussion paper. Draft 1.0, for discussion at the EG WS&D.

Liite 3 – WEI+ tulokset ja arvot yhteenvedo

Numero	Vesistöalueen nimi	Merialue	Valuma-alue km ²	Suomen puolella km ²	Järvisyys %	WEI+ keskiarvo	WEI+ mediaani	NWR, Mm ³	Internal Inflow, Mm ³	P Mm ³	Eta Mm ³
1	Jänisjoen vesistöalue	Laatokka	3860,64	1988,41	10,60%	0,02%	0,02%	708,79	373,55	1446,77	1073,22
3	Hiitolanjoen vesistöalue	Laatokka	1415,15	1079,28	12,46%	0,15%	0,15%	231,65	786,19	1333,42	547,23
4	Vuoksen vesistöalue	Laatokka	68501,14	52696,63	19,78%	0,12%	0,12%	14829,76	8283,37	36725,70	28442,33
14	Kymijoen vesistöalue	Suomenlahti	37158,74	37158,74	18,34%	1,29%	1,22%	9118,58	5368,85	24063,19	18694,35
18	Porvoonjoen vesistöalue	Suomenlahti	1237,09	1237,09	1,34%	1,68%	1,64%	385,29	356,59	801,29	444,70
19	Mustijoen vesistöalue	Suomenlahti	783,21	783,21	1,49%	1,44%	1,42%	226,74	57,11	498,10	440,99
21	Vantaanjoen vesistöalue	Suomenlahti	1685,92	1685,92	2,25%	0,29%	0,24%	499,43	468,60	1148,97	680,38
22	Siuntionjoen vesistöalue	Suomenlahti	487,07	487,07	5,23%	1,26%	1,04%	177,34	152,21	352,61	200,40
23	Karjaanjoen vesistöalue	Suomenlahti	2045,81	2045,81	12,18%	1,42%	1,19%	559,56	476,61	1372,65	896,04
24	Kiskonjoen–Perniönjoen vesistöalue	Saaristomeri	1046,91	1046,91	5,67%	0,99%	0,67%	334,43	273,73	779,95	506,22
25	Uskelmanjoen vesistöalue	Saaristomeri	566,45	566,45	0,60%	2,08%	1,70%	188,51	184,17	409,88	225,71
26	Halikonjoen vesistöalue	Saaristomeri	306,57	306,57	0,05%	0,97%	0,82%	117,18	123,08	214,44	91,36
27	Paimionjoen vesistöalue	Saaristomeri	1088	1088	1,58%	2,44%	1,71%	307,37	304,60	740,92	436,33
28	Aurajoen vesistöalue	Saaristomeri	874	874	0,30%	4,66%	4,08%	306,86	286,15	628,49	342,34
30	Mynäjoen vesistöalue	Saaristomeri	288,43	288,43	0,33%	1,02%	0,97%	84,57	88,79	192,89	104,10
32	Sirppujoen vesistöalue	Selkämeri	437,76	437,76	1,85%	1,92%	1,42%	130,08	124,08	287,21	163,13
34	Eurajoen vesistöalue	Selkämeri	1335,9	1335,9	12,90%	1,13%	0,91%	314,05	329,17	875,85	546,68
35	Kokemäenjoen vesistöalue	Selkämeri	27046,12	27046,12	10,99%	0,37%	0,34%	7059,96	4873,46	17692,28	12818,82
36	Karvianjoen vesistöalue	Selkämeri	3438,01	3438,01	4,55%	0,73%	0,61%	577,60	1078,92	2413,35	1334,44
37	Lapväärtinjoen (Isojoen) vesistöalue	Selkämeri	1098,05	1098,05	0,20%	0,18%	0,16%	416,34	420,21	749,06	328,85
41	Laihanjoen vesistöalue	Selkämeri	506,49	506,49	0,33%	0,80%	0,78%	121,69	101,09	292,54	191,46
42	Kyrönjoen vesistöalue	Perämeri	4922,97	4922,97	6,81%	0,90%	0,81%	1326,57	858,88	2912,41	2053,53
44	Lapuanjoen vesistöalue	Perämeri	4122,05	4122,05	2,92%	0,58%	0,55%	1126,06	707,93	2598,20	1890,27
47	Ähtävänjoen vesistöalue	Perämeri	2053,73	2053,73	9,77%	0,51%	0,51%	504,03	529,51	1263,65	734,14
49	Perhonjoen vesistöalue	Perämeri	2523,84	2523,84	3,35%	0,26%	0,24%	787,13	726,42	1630,65	904,23
51	Lestijoen vesistöalue	Perämeri	1372,8	1372,8	6,22%	0,24%	0,23%	430,19	454,39	869,48	415,10
53	Kalajoen vesistöalue	Perämeri	4246,97	4246,97	1,82%	0,44%	0,42%	1196,19	1016,39	2586,36	1569,97
54	Pyhäjoen vesistöalue	Perämeri	3711,89	3711,89	5,16%	0,84%	0,90%	1007,95	946,48	2229,03	1282,54
57	Siikajoen vesistöalue	Perämeri	4318,01	4318,01	2,18%	0,14%	0,14%	1253,96	1095,07	2644,81	1549,74
58	Temmesjoen vesistöalue	Perämeri	1180,71	1180,71	0,50%	0,46%	0,44%	333,96	367,60	703,31	335,72
59	Oulujoen vesistöalue	Perämeri	22841,4	22509,41	11,47%	0,24%	0,25%	7713,03	2609,48	12081,24	9471,76
60	Kiiminkijoen vesistöalue	Perämeri	3813,55	3813,55	2,97%	0,14%	0,14%	1382,91	908,34	2391,32	1482,98
61	Iijoen vesistöalue	Perämeri	14190,68	14190,68	5,67%	0,04%	0,04%	5461,78	5078,80	9473,23	4394,43
63	Kuivajoen vesistöalue	Perämeri	1356,24	1356,24	2,72%	0,03%	0,03%	602,82	625,55	931,51	305,96
64	Simojoen vesistöalue	Perämeri	3159,75	3159,75	5,66%	0,02%	0,02%	1353,38	1204,96	2117,61	912,65
65	Kemijoen vesistöalue	Perämeri	51127,28	49467,34	4,30%	0,02%	0,02%	17840,62	16235,82	29582,96	13347,14
81.055	Espoonjoen vesistöalue	Suomenlahti	132,34	132,34	6,26%	0,11%	0,10%	53,58	26,66	102,87	76,21

Numer o	Outflow, Mm ³	ΔS, Mm ³	ExtIn	ExtOut	Abs	Ret	Domestic water use (250/pe Pop	kastelu Mm ³	Kasteitu ala	Pelto-%	Teollisuud en jäähdytysv edet Mm ³	Teollisuus den vedenott o Mm ³	huom
1	708,69	-335,24	0	0	0,56	0,45	0,50	5512	0,05	91,83	4,70 %		
3	231,32	554,54	0	0	1,03	0,70	0,77	8467	0,26	436,00	14,66 %		
4	14812,01	-6546,39	0	0	163,60	145,85	51,27	561897	4,31	7322,14	7,53 %	104,95	3,07
14	9007,41	-3749,73	0	97,762	196,05	84,89	49,61	543691	1,58	2682,96	8,84 %	47,09	0,01
18	379,23	-28,70	0	0	9,29	0,00	8,04	88095	1,25	2133,62	32,98 %		Päijännetunneli (3,1 m ³ /s), Kotkan jätevedet mereen. 4 Mm ³ menee mereen, loppuista oletetaan palautuvan 80%
19	223,80	-169,63	0	0	2,94	0,00	2,18	23852	0,76	1277,72	31,25 %		Puhdistetut jäteveden mereen
21	498,17	-30,83	0	0	1,36	0,10	0,00	422441	1,25	2120,58	24,28 %	0,11	Päijännetunneli (3,1 m ³ /s), vesi ei vesistöön, jv:t mereen
22	175,38	-25,14	0	0	3,56	0,10	3,19	34972	0,37	617,87	25,26 %		50% palautuu
23	552,86	-82,95	0	0	11,13	4,43	5,30	58117	1,17	1978,33	20,78 %	4,66	Puhdistetut jäteveden mereen
24	331,87	-60,69	0	0	2,55	0,00	0,96	10552	1,59	2680,00	24,72 %		Puhdistetut jäteveden mereen
25	185,21	-4,34	0	0	3,31	0,00	2,75	30130	0,56	940,00	44,04 %		25 % palaa
26	116,16	5,90	0	0	1,18	0,00	0,89	9771	0,29	250,00	39,54 %		80% Puhdistetuista jätevesistä mereen
27	302,09	-2,77	0	0	7,30	2,02	2,22	24317	1,00	1690,00	43,87 %	0,03	0,01 Vettä Aurajokeen
28	294,19	-16,66	4,045	0	12,67	0,00	11,73	128521	0,94	1590,00	37,10 %	0,00	Vettä Aurajokesta, Puhdistetut jäteveden mereen
30	83,78	4,22	0	0	0,91	0,12	0,59	6460	0,20	330,00	25,56 %	0,13	Puhdistetut jäteveden mereen
32	128,07	-6,00	0	0	2,01	0,00	0,92	10072	1,10	910,00	28,44 %		Puhdistetut jäteveden mereen
34	310,99	15,12	0	0	4,59	1,54	2,20	24070	0,78	1324,93	27,11 %	1,62	
35	7035,97	-2186,50	0	0	101,83	77,84	70,79	775802	8,81	15027,26	17,58 %	22,06	0,16 Porin Puhdistetut jäteveden mereen
36	573,86	501,31	0	0	3,74	0,00	2,69	29500	1,05	1788,82	12,98 %		Puhdistetut jäteveden mereen
37	415,63	3,87	0	0	0,71	0,00	0,54	5971	0,17	282,99	13,59 %		Puhdistetut jäteveden mereen
41	120,81	-20,60	0	0	1,15	0,27	0,97	10605	0,16	266,87	27,82 %	0,03	ret 25%
42	1315,54	-467,69	0	0	85,34	74,31	9,75	106818	1,38	2354,16	27,01 %	74,22	Vaasan Puhdistetut jäteveden mereen
44	1119,94	-418,13	0	0	6,13	0,01	5,10	55874	1,02	1744,05	22,94 %	0,01	Puhdistetut jäteveden mereen
47	501,60	25,48	0	0	2,43	0,00	2,07	22738	0,34	583,74	16,58 %		0,01 Puhdistetut jäteveden mereen
49	785,19	-60,72	0	0	1,95	0,00	1,62	17781	0,32	551,49	11,90 %		0,00 Puhdistetut jäteveden mereen
51	429,20	24,19	0	0	1,06	0,06	0,84	9217	0,15	260,37	11,90 %	0,06	Puhdistetut jäteveden mereen
53	1191,11	-179,79	0	0	5,07	0,00	4,37	47928	0,69	1183,13	16,69 %		0,00 Puhdistetut jäteveden mereen
54	999,88	-61,47	0	0	103,41	95,33	2,65	29029	0,40	688,70	11,51 %	100,35	Puhdistetut jäteveden mereen
57	1252,27	-158,89	0	0	1,72	0,03	1,28	14013	0,41	696,54	9,70 %	0,04	Puhdistetut jäteveden mereen
58	332,53	33,63	0	0	1,43	0,00	1,22	13348	0,21	365,50	18,30 %		Puhdistetut jäteveden mereen
59	7695,21	-5103,55	0	0	97,05	79,23	13,96	152989	0,47	794,65	2,35 %	82,62	Oulun Puhdistetut jäteveden mereen
60	1381,02	-474,58	0	0	1,90	0,00	1,84	20121	0,06	107,93	1,72 %		Puhdistetut jäteveden mereen
61	5459,71	-382,98	0	0	2,07	0,00	1,90	20774	0,17	292,43	1,29 %		Puhdistetut jäteveden mereen
63	602,66	22,73	0	0	0,16	0,00	0,14	1527	0,02	35,16	1,57 %		Puhdistetut jäteveden mereen
64	1353,08	-148,42	0	0	0,30	0,00	0,25	2778	0,05	76,36	1,51 %		Puhdistetut jäteveden mereen
65	17837,68	-1604,80	0	0	11,66	8,71	8,80	96388	0,09	145,95	0,62 %	2,78	Kemin Puhdistetut jäteveden mereen
81.055	53,53	-26,92	0	0	0,05	0,00	0,00	69778	0,05	88,35	13,44 %		Vedenotto päijännetunnelista

Liite 4 – WEI+ Kuukausianalyysin tulosten yhteenveto

vesistön nro																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
--------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--